

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局(43) 国際公開日  
2005 年 9 月 15 日 (15.09.2005)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2005/085663 A1

- (51) 国際特許分類: F16C 32/04, F04D 19/04, H03F 3/217  
(21) 国際出願番号: PCT/JP2005/003347  
(22) 国際出願日: 2005 年 2 月 28 日 (28.02.2005)  
(25) 国際出願の言語: 日本語  
(26) 国際公開の言語: 日本語  
(30) 優先権データ:  
特願2004-060047 2004 年 3 月 4 日 (04.03.2004) JP  
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): BOC  
エドワーズ株式会社 (BOC EDWARDS JAPAN LIM-  
ITED) [JP/JP]; 〒1000006 東京都千代田区有楽町一丁  
目9番4号 蚕糸会館 Tokyo (JP).

(KAWASHIMA, Toshiaki) [JP/JP]; 〒2768523 千葉県  
八千代市吉橋1078-1 BOCエドワーズ株式会社内  
Chiba (JP).

- (74) 代理人: 椎名正利 (SHIINA, Masatoshi); 〒1040032 東  
京都中央区八丁堀4-1 0-9 林ビル2階 Tokyo (JP).  
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が  
可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR,  
BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,  
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,  
ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT,  
LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI,  
NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG,  
SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,  
UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

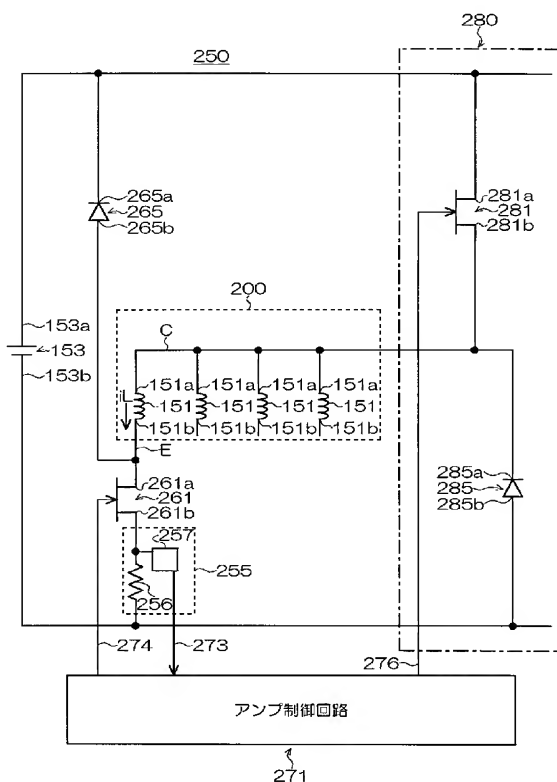
- (72) 発明者; および  
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 川島 敏明

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護  
が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA,

[続葉有]

(54) Title: MAGNETIC BEARING AND TURBO-MOLECULAR PUMP HAVING IT

(54) 発明の名称: 磁気軸受装置及び該磁気軸受装置を搭載したターボ分子ポンプ



271... AMPLIFIER CONTROL CIRCUIT

(57) Abstract: A magnetic bearing and a turbo-molecular pump having it in which the cost of manufacturing and installation of the turbo-molecular pump can be reduced by decreasing the number of elements of an amplifier circuit for exciting/driving an electromagnet, and the error can be reduced when the current flowing through the electromagnet is detected. One end (151a) of an electromagnet winding (151) constituting each of electromagnets (104, 105, 106A, 106B) is connected with a common node (C). The common node (C) is connected with a switching circuit (280) composed of a transistor (281) and a diode (285). The other end (151b) of the electromagnet winding (151) is connected with an amplifier circuit (250) composed of a transistor (261) and a diode (265).

(57) 要約: 電磁石を励磁駆動するアンプ回路の素子数を減らすことでターボ分子ポンプの製造、設置等に必要なコストを減少させるとともに、電磁石に流れる電流の検出に際して誤差を減らすことのできる磁気軸受装置及び該磁気軸受装置を搭載したターボ分子ポンプを提供する。各電磁石104、105、106A、106Bを構成する電磁石巻線151の一端151aが共通ノードCに接続されている。この共通ノードCには、トランジスタ281及びダイオード285からなる切替回路280が接続されている。一方、電磁石巻線151の他端151bには、トランジスタ261及びダイオード265からなるアンプ回路250が接続されている。

WO 2005/085663 A1



SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各*PCT*ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

## 明 細 書

### 磁気軸受装置及び該磁気軸受装置を搭載したターボ分子ポンプ 技術分野

[0001] 本発明は磁気軸受装置及び該磁気軸受装置を搭載したターボ分子ポンプに係わり、特に、電磁石を励磁駆動するアンプ回路の素子数を減らすことでターボ分子ポンプの製造、設置等に必要なコストを減少させるとともに、電磁石に流れる電流の検出に際して誤差を減らすことのできる磁気軸受装置及び該磁気軸受装置を搭載したターボ分子ポンプに関する。

### 背景技術

[0002] 近年のエレクトロニクスの発展に伴い、メモリや集積回路といった半導体の需要が急激に増大している。これらの半導体は、極めて純度の高い半導体基板に不純物をドーピングして電氣的性質を与えたり、半導体基板上に微細な回路パターンを形成し、これを積層するなどして製造される。そして、これらの作業は空気中の塵等による影響を避けるため高真空状態のチャンバ内で行われる必要がある。このチャンバの排気には、一般にポンプ装置として真空ポンプが用いられているが、特に残留ガスが少なく、保守が容易である等の点から真空ポンプの中の1つであるターボ分子ポンプが多用されている。

[0003] また、半導体の製造工程では、さまざまなプロセスガスを半導体の基板に作用させる工程が数多くあり、ターボ分子ポンプはチャンバ内を真空にするのみならず、これらのプロセスガスをチャンバ内から排気するのにも使用される。さらに、ターボ分子ポンプは、電子顕微鏡等の設備において、粉塵等の存在による電子ビームの屈折等を防止するため、電子顕微鏡等のチャンバ内の環境を高度の真空状態にするのにも用いられている。

[0004] そして、このようなターボ分子ポンプは、半導体製造装置や電子顕微鏡等のチャンバからガスを吸引排気するためのターボ分子ポンプ本体と、このターボ分子ポンプ本体を制御する制御装置とから構成されている。ターボ分子ポンプ本体の縦断面図を図10に示す。

図10において、ターボ分子ポンプ本体100は、円筒状の外筒127の上端に吸気口101が形成されている。そして、外筒127の内方には、ガスを吸引排気するためのタービンプレードによる複数の回転翼102a、102b、102c、…を周部に放射状かつ多段に形成した回転体103が備えられている。この回転体103の中心にはロータ軸113が取り付けられており、このロータ軸113は、例えば5軸制御の磁気軸受により空中に浮上支持かつ位置制御されている。

[0005] 上側径方向電磁石104は、4個の電磁石がX軸とY軸にかつ＋方向と－方向に、それぞれの対をなして配置されている(図示しないが、必要に応じて電磁石104X＋、104X－、104Y＋、104Y－という)。この上側径方向電磁石104に近接かつ対応されて4個の電磁石からなる上側径方向センサ107が備えられている。この上側径方向センサ107は回転体103の径方向変位を検出し、図示せぬ制御装置に送るように構成されている。

[0006] この制御装置においては、上側径方向センサ107が検出した変位信号に基づき、PID調節機能を有する補償回路を介したアンプ回路150(後述する)により上側径方向電磁石104を励磁制御し、ロータ軸113の上側の径方向位置を調整する。

そして、このロータ軸113は、高透磁率材(鉄など)などにより形成され、上側径方向電磁石104の磁力により吸引されるようになっている。かかる調整は、X軸方向とY軸方向とにそれぞれ独立して行われる。

[0007] また、下側径方向電磁石105及び下側径方向センサ108が、上側径方向電磁石104及び上側径方向センサ107と同様に配置され、ロータ軸113の下側の径方向位置を上側の径方向位置と同様に調整している(下側径方向電磁石105についても、必要に応じて電磁石105X＋、105X－、105Y＋、105Y－という)。

[0008] さらに、軸方向電磁石106A、106Bが、ロータ軸113の下部に備えた円板状の金属ディスク111を上下に挟んで配置されている。金属ディスク111は、鉄などの高透磁率材で構成されている。ロータ軸113の軸方向変位を検出するために軸方向センサ109が備えられ、その軸方向変位信号が制御装置に送られるように構成されている。

[0009] そして、軸方向電磁石106A、106Bは、この軸方向変位信号に基づき、制御装置

のPID調節機能を有する補償回路を介したアンプ回路150により励磁制御されるようになっている。軸方向電磁石106Aは、磁力により金属ディスク111を上方に吸引し、軸方向電磁石106Bは、金属ディスク111を下方に吸引する。

[0010] このように、制御装置は、この軸方向電磁石106A、106Bが金属ディスク111に及ぼす磁力を適当に調節し、ロータ軸113を軸方向に磁気浮上させ、空間に非接触で保持するようになっている。

なお、これら上側径方向電磁石104、下側径方向電磁石105及び軸方向電磁石106A、106Bを励磁駆動するアンプ回路150については、後述にてさらに詳細に説明する。

[0011] 一方、モータ121は、ロータ軸113を取り囲むように周状に配置された複数の磁極を備えている。各磁極は、ロータ軸113との間に作用する電磁力を介してロータ軸113を回転駆動するように、制御装置によって制御されている。

また、モータ121には図示しない回転数センサが組み込まれており、この回転数センサの検出信号によりロータ軸113の回転数が検出されるようになっている。さらに、例えば下側径方向センサ108近傍に、図示しない位相センサが取り付けられてあり、ロータ軸113の回転の位相を検出するようになっている。制御装置では、この位相センサと回転数センサの検出信号をともに用いて磁極の位置を検出するようになっている。

[0012] 回転翼102a、102b、102c、…とわずかの空隙を隔てて複数枚の固定翼123a、123b、123c、…が配設されている。回転翼102a、102b、102c、…は、それぞれ排気ガスの分子を衝突により下方向に移送するため、ロータ軸113の軸線に垂直な平面から所定の角度だけ傾斜して形成されている。また、固定翼123も、同様にロータ軸113の軸線に垂直な平面から所定の角度だけ傾斜して形成され、かつ外筒127の内方に向けて回転翼102の段と互い違いに配設されている。

[0013] そして、固定翼123の一端は、複数の段積みされた固定翼スペーサ125a、125b、125c、…の間に嵌挿された状態で支持されている。固定翼スペーサ125はリング状の部材であり、例えばアルミニウム、鉄、ステンレス、銅などの金属、又はこれらの金属を成分として含む合金などの金属によって構成されている。

[0014] 固定翼スペーサ125の外周には、わずかの空隙を隔てて外筒127が固定されてい

る。外筒127の底部にはベース部129が配設され、固定翼スペーサ125の下部とベース部129の間にはネジ付きスペーサ131が配設されている。そして、ベース部129中のネジ付きスペーサ131の下部には排気口133が形成され、外部に連通されている。

[0015] ネジ付きスペーサ131は、アルミニウム、銅、ステンレス、鉄、又はこれらの金属を成分とする合金などの金属によって構成された円筒状の部材であり、その内周面に螺旋状のネジ溝131aが複数条刻設されている。ネジ溝131aの螺旋の方向は、回転体103の回転方向に排気ガスの分子が移動したときに、この分子が排気口133の方へ移送される方向である。

[0016] 回転体103の回転翼102a、102b、102c、…に続く最下部には回転翼102dが垂下されている。この回転翼102dの外周面は、円筒状で、かつネジ付きスペーサ131の内周面に向かって張り出されており、このネジ付きスペーサ131の内周面と所定の隙間を隔てて近接されている。

ベース部129は、ターボ分子ポンプ本体100の基底部を構成する円盤状の部材であり、一般には鉄、アルミニウム、ステンレスなどの金属によって構成されている。ベース部129はターボ分子ポンプ本体100を物理的に保持すると共に、熱の伝導路の機能も兼ね備えているので、鉄、アルミニウムや銅などの剛性があり、熱伝導率も高い金属が使用されるのが望ましい。

[0017] かかる構成において、回転翼102がモータ121により駆動されてロータ軸113と共に回転すると、回転翼102と固定翼123の作用により、吸気口101を通じてチャンバからの排気ガスが吸気される。

吸気口101から吸気された排気ガスは、回転翼102と固定翼123の間を通り、ベース部129へ移送される。このとき、排気ガスが回転翼102に接触する際に生ずる摩擦熱や、モータ121で発生した熱の伝導などにより、回転翼102の温度は上昇するが、この熱は、輻射又は排気ガスの気体分子などによる伝導により固定翼123側に伝達される。

[0018] 固定翼スペーサ125は、外周部で互いに接合しており、固定翼123が回転翼102から受け取った熱や排気ガスが固定翼123に接触する際に生ずる摩擦熱などを外

部へと伝達する。そして、ベース部129に移送されてきた排気ガスは、ネジ付きスペーサ131のネジ溝131aに案内されつつ排気口133へと送られる。

[0019] ここに、ターボ分子ポンプは、個々に調整された固有のパラメータ(例えば、機種の特定、機種に対応する諸特性)に基づいた制御を要する。この制御パラメータを格納するために、上記ターボ分子ポンプ本体100は、その本体内に電子回路部141を備えている。電子回路部141は、EEP-ROM等の半導体メモリ及びそのアクセスのための半導体素子等の電子部品、その実装用の基板143等から構成される。この電子回路部141は、ターボ分子ポンプ本体100の下部を構成するベース部129の中央付近の図示しない回転数センサの下部に収容され、気密性の底蓋145によって閉じられている。

[0020] 次に、このように構成されるターボ分子ポンプ本体100に対し、その上側径方向電磁石104、下側径方向電磁石105及び軸方向電磁石106A、106Bを励磁駆動するアンプ回路について説明する。このアンプ回路の従来例としては特許文献1が知られている。

[0021] 従来のアンプ回路の回路図を図11に示す。なお、各電磁石104、105、106A、106Bを構成する電磁石巻線151、151、…はターボ分子ポンプ本体100側に存在する素子であるが、簡単のためこれもあわせて示す。

図11において、電磁石巻線151は、一端151aがトランジスタ161及びダイオード165に接続されている。一方、電磁石巻線151の他端151bは、電流検出回路155を介して、トランジスタ162及びダイオード166に接続されている。

[0022] このとき、トランジスタ161、162は、ともにパワーMOSFETであり、トランジスタ161のドレイン端子161aが電源153の正極153aに、ソース端子161bが電磁石巻線151の一端151aに接続されている。また、トランジスタ162は、ドレイン端子162aが電流検出回路155を介して電磁石巻線151の他端151bに、ソース端子162bが電源153の負極153bに接続されている。

[0023] さらに、ダイオード165、166は、ともに電流回生用のダイオードであり、ダイオード165のカソード端子165aが電磁石巻線151の一端151aに、アノード端子165bが負極153bに接続されている。また、ダイオード166は、カソード端子166aが正極153a

に、アノード端子166bが電流検出回路155を介して電磁石巻線151の他端151bに接続されている。

[0024] そして、電磁石巻線151の他端151bに接続されている電流検出回路155は、例えばホールセンサ式電流センサであり、電磁石巻線151に流れた電流(以下、電磁石電流 $i_L$ という)を検出して、この検出結果である電流検出信号173を後述するアンプ制御回路171に出力するようになっている。また、電源153の正極153a及び負極153b間には、電源153の安定化のためのコンデンサ(図示略)が接続されるようになっている。

以上のようにして構成されるアンプ回路150は、各電磁石104、105、106A、106Bを構成する電磁石巻線151、151、…毎に設けられるようになっている。

[0025] アンプ制御回路171は、制御装置の図示しないディジタル・シグナル・プロセッサ部(以下、DSP部という)内の回路となっており、このアンプ制御回路171は、電流検出回路155で検出した電磁石電流 $i_L$ の値と電流指令値とを比較するようになっている。そして、この比較結果に基づき、PWM制御による1周期である制御サイクル $T_s$ 内にトランジスタ161、162のゲート端子に出力するゲート駆動信号174、175のパルス幅時間を決めるようになっている。

[0026] かかる構成において、アンプ回路150の両トランジスタ161、162をonにすると、正極153aからトランジスタ161、電磁石巻線151、トランジスタ162を介して負極153bへ供給される電流により、電磁石電流 $i_L$ が増加する。一方、両トランジスタ161、162をoffにすると、負極153bからダイオード165、電磁石巻線151、ダイオード166を介して正極153aへ回生する電流により、電磁石電流 $i_L$ が減少する。

[0027] このとき、電流検出回路155で検出した電磁石電流 $i_L$ の値が電流指令値よりも小さい場合には、アンプ制御回路171で電磁石電流 $i_L$ を増加させるように制御が行われる。そのため、図12に示すように1制御サイクル $T_s$ 中で両トランジスタ161、162をonにするパルス幅時間が、両トランジスタ161、162をoffにするパルス幅時間よりも長くされる。その結果、電磁石電流 $i_L$ の増加時間 $T_{p1}$ が、その減少時間 $T_{p2}$ よりも長くなるので、1制御サイクル $T_s$ 中に電磁石電流 $i_L$ が増加する。

[0028] 一方、電流検出回路155で検出した電磁石電流 $i_L$ の値が電流指令値よりも大きい



場合には、アンプ制御回路171で電磁石電流 $i_L$ を減少させるように制御が行われる。そのため、図12に示すように1制御サイクル $T_s$ 中で両トランジスタ161、162をoffにするパルス幅時間が、両トランジスタ161、162をonにするパルス幅時間よりも長くされる。その結果、電磁石電流 $i_L$ の減少時間 $T_{p2}$ が増加時間 $T_{p1}$ よりも長くなるので、1制御サイクル $T_s$ 中に電磁石電流 $i_L$ が減少する。

[0029] これにより、制御サイクル $T_s$ 中に電磁石電流 $i_L$ を適宜増減させることができるので、電磁石電流 $i_L$ の値を電流指令値と一致させることができる。

なお、電流検出回路155における電磁石電流 $i_L$ の検出は、図12に示すように制御サイクル $T_s$ 中に1回同じ検出タイミング $T_d$ で行われる。

[0030] 特許文献1:特許3176584号公報(図8、図9)

## 発明の開示

### 発明が解決しようとする課題

[0031] ところで、上述したようにアンプ回路150は各電磁石104、105、106A、106Bを構成する電磁石巻線151、151、…毎に設けられるものであるため、5軸制御の磁気軸受の場合、その制御装置内には10個のアンプ回路150が存在する。そして、個々のアンプ回路150は、図11に示したような2個のトランジスタ161、162と2個のダイオード165、166とによるブリッジ回路で構成されるため、全ての電磁石巻線151、151、…を励磁駆動するためには20個のトランジスタと20個のダイオードとが必要となる。

[0032] 従って、アンプ回路150は素子数が多いのでアンプ回路150の小型化が困難であり、ターボ分子ポンプ全体の小型化を図るのが困難であった。そのため、ターボ分子ポンプをクリーンルーム等に設置する場合にも広い場所が必要となって設置コストが上昇するおそれがあった。また、アンプ回路150の素子数が多いために故障率が上昇するおそれがあった。さらに、アンプ回路150での消費電力や発熱も多くなるおそれがあった。また、素子数の多さからアンプ回路150自身の製造コスト等が上昇するおそれがあった。

[0033] 加えて、図11に示したように電磁石巻線151はターボ分子ポンプ本体100側に存在する素子であるため、電磁石巻線151の両端151a、151bのノード(このノードをそれぞれノードR、ノードSという)は、制御装置及びターボ分子ポンプ本体100間の

ケーブルを構成する配線となる。そして、アンプ回路150が制御装置内に10個存在することを考慮すると、制御装置及びターボ分子ポンプ本体100間のケーブルにはノードR、Sとして20本の配線が存在することになる。従って、制御装置及びターボ分子ポンプ本体100間のケーブルを多芯とする必要があったり、ケーブルのターボ分子ポンプ本体100側の入出口となるコネクタ(図示略)を大型化する必要があるため、部品コストが上昇するおそれがあった。

[0034] さらに、従来のアンプ回路150に対する制御では、図12に示したように制御サイクルTs中に常に電磁石電流 $i_L$ の増減が行われる(すなわち一定の状態にならない)。そのため、電磁石電流 $i_L$ の検出を行う検出タイミングTdでは電磁石電流 $i_L$ が過渡的な状態にあった。従って、検出タイミングTdと実際の電磁石電流 $i_L$ の波形との間にわずかでもずれ等が生じると、本来検出すべきであった電磁石電流 $i_L$ の値に対して大きく誤差を生じるおそれがあった。また、この検出タイミングTd付近で電磁石電流 $i_L$ の増減が切り替わると、アンプ回路150内にノイズが発生したり、電源153の正極153a及び負極153bにノイズが乗ったりして、検出誤差を生ずるおそれがあった。

[0035] 本発明はこのような従来の課題に鑑みてなされたもので、電磁石を励磁駆動するアンプ回路の素子数を減らすことでターボ分子ポンプの製造、設置等に必要コストを減少させるとともに、電磁石に流れる電流の検出に際して誤差を減らすことのできる磁気軸受装置及び該磁気軸受装置を搭載したターボ分子ポンプを提供することを目的とする。

#### 課題を解決するための手段

[0036] このため本発明は、磁気軸受装置に関し、回転体と、該回転体の半径方向位置及び／又は軸方向位置を制御する複数個の電磁石と、該電磁石に電力を供給する電源と、前記電磁石の一端が共通に接続された共通ノードと、該共通ノードの電圧を切り替える切替手段と、前記一つの電磁石の他端から前記電源の負極へ供給される供給電流又は前記一つの電磁石の他端から前記電源の正極へ回生される回生電流により、前記各電磁石の励磁を制御する励磁制御手段とを備え、前記切替手段は、前記正極及び前記共通ノード間を断接する第1のスイッチ素子と、前記負極から前記共通ノードへの向きに電流を流す第1の整流素子とを有し、前記励磁制御手段は

、前記一つの電磁石の他端及び前記負極間を断接する第2のスイッチ素子と、前記一つの電磁石の他端から前記正極への向きに電流を流す第2の整流素子とを有するように構成した。

[0037] 励磁制御手段の第2のスイッチ素子を接続して切替手段の第1のスイッチ素子を接続すると、供給電流が流れて電磁石電流が増加する。一方、第2のスイッチ素子を切断して第1のスイッチ素子を切断すると、回生電流が流れて電磁石電流が減少する。

このことにより、励磁制御手段を1つのスイッチ素子と1つの整流素子のみで構成しても、切替手段への制御を行いつつ励磁制御手段を制御することで、電磁石電流を増加又は減少させて電磁石の励磁を制御することが可能となる。

[0038] そのため、励磁制御手段を構成する素子数が減少するので、これを備えた磁気軸受装置の故障率を下げるができる。また、磁気軸受装置の消費電力や、発熱も減らすことができる。さらに、励磁制御手段はいわゆるレギュレータの回路ではないので、共通ノードに対して安定化のためのコンデンサを設けたり、保護用のチョークコイル等を設ける必要がなく、部品コスト等を下げることができる。

[0039] なお、第2のスイッチ素子を接続して第1のスイッチ素子を切断するか、第2のスイッチ素子を切断して第1のスイッチ素子を接続すると、電磁石の他端から正極又は負極へフライホイール電流が流れるので電磁石電流を一定に保つことができる。

[0040] また、本発明は、磁気軸受装置に関し、回転体と、該回転体の半径方向位置及び／又は軸方向位置を制御する複数の電磁石と、該電磁石に電力を供給する電源と、前記電磁石の一端が共通に接続された共通ノードと、該共通ノードの電圧を切り替える切替手段と、前記電源の正極から前記一つの電磁石の他端へ供給される供給電流又は前記電源の負極から前記一つの電磁石の他端へ回生される回生電流により、前記各電磁石の励磁を制御する励磁制御手段とを備え、前記切替手段は、前記共通ノード及び前記負極間を断接する第1のスイッチ素子と、前記共通ノードから前記正極への向きに電流を流す第1の整流素子とを有し、前記励磁制御手段は、前記正極及び前記一つの電磁石の他端間を断接する第2のスイッチ素子と、前記負極から前記一つの電磁石の他端への向きに電流を流す第2の整流素子とを有するように構成した。

- [0041] 励磁制御手段の第2のスイッチ素子を接続して切替手段の第1のスイッチ素子を接続すると、供給電流が流れて電磁石電流が増加する。一方、第2のスイッチ素子を切断して第1のスイッチ素子を切断すると、回生電流が流れて電磁石電流が減少する。
- このことにより、励磁制御手段を1つのスイッチ素子と1つの整流素子のみで構成しても、電磁石電流を増加又は減少させて電磁石の励磁を制御することが可能となる。従って、設計や制御が容易な励磁制御手段、切替手段を選択可能となる。
- [0042] なお、この場合も第2のスイッチ素子を接続して第1のスイッチ素子を切断するか、第2のスイッチ素子を切断して第1のスイッチ素子を接続すると、電磁石の他端から正極又は負極へフライホイール電流が流れるので電磁石電流を一定に保つことができる。
- [0043] さらに、本発明は、磁気軸受装置に関し、前記切替手段の切替位相及び前記励磁制御手段の制御位相を共通の制御サイクルのもとに調節することにより、前記各電磁石に流れる電流を増加、減少又は一定に維持することを特徴とする。
- [0044] 切替手段の切替位相及び励磁制御手段の制御位相を共通の制御サイクルのもとに調節することで、少ない素子でかつ簡単に回路構成できる。そして、制御サイクル中に上記供給電流、回生電流及びフライホイール電流のいずれかの電流を電磁石に流すことができる。そのため、電磁石に流れる電流を増加、減少又は一定に維持することができる。
- [0045] さらに、本発明は、磁気軸受装置に関し、前記第1の整流素子には並列に第3のスイッチ素子が備えられたことを特徴とする。
- [0046] 切替手段の第1の整流素子を介して電流が流れるときに第3のスイッチ素子を接続することで、第1の整流素子の発熱を抑えることができる。
- [0047] さらに、本発明は、磁気軸受装置に関し、回転体と、該回転体の半径方向位置及び／又は軸方向位置を制御する複数個の電磁石と、該電磁石に電力を供給する電源と、前記電磁石の一端が共通に接続された共通ノードと、該共通ノードの電圧を切り替える切替手段と、前記一つの電磁石の他端から前記電源の負極へ供給される供給電流又は前記一つの電磁石の他端から前記電源の正極へ回生される回生電流により、前記複数個の電磁石のうち少なくとも1個の励磁を制御する第1の励磁制御

手段と、前記正極から前記他の一つの電磁石の他端へ供給される供給電流又は前記負極から前記他の一つの電磁石の他端へ回生される回生電流により、前記第1の励磁制御手段により励磁制御される電磁石以外の電磁石の励磁を制御する第2の励磁制御手段とを備え、前記切替手段は、前記共通ノード及び前記負極間を断接するスイッチ素子と、前記正極及び前記共通ノード間を断接するスイッチ素子と、前記共通ノードから前記正極への向きの電流、及び前記負極から前記共通ノードへの向きの電流をそれぞれ流す整流素子とを有し、前記第1の励磁制御手段は、前記一つの電磁石の他端及び前記負極間を断接するスイッチ素子と、前記一つの電磁石の他端から前記正極への向きに電流を流す整流素子とを有し、前記第2の励磁制御手段は、前記正極及び前記他の一つの電磁石の他端間を断接するスイッチ素子と、前記負極から前記他の一つの電磁石の他端への向きに電流を流す整流素子とを有するように構成した。

[0048] 切替手段は、共通ノード及び負極間、正極及び共通ノード間を断接するスイッチ素子と、共通ノードから正極へ、負極から共通ノードへ電流を流す整流素子とを有するので、複数の電磁石が、第1の励磁制御手段により制御される電磁石と第2の励磁制御手段により制御される電磁石とに分けられても、電磁石電流を増加又は減少させて電磁石の励磁を制御することが可能となる。

なお、切替手段では、共通ノード及び負極間の接続と正極及び共通ノード間の接続とが重複しないようにスイッチ素子を断接することが望ましい。これにより正極及び負極間の貫通電流を防ぐことができる。

[0049] さらに、本発明は、磁気軸受装置に関し、前記切替手段の切替位相、前記第1の励磁制御手段及び前記第2の励磁制御手段の制御位相を共通の制御サイクルのもとに調節することにより、前記各電磁石に流れる電流を増加、減少又は一定に維持することを特徴とする。

[0050] 切替手段の切替位相、第1の励磁制御手段及び第2の励磁制御手段の制御位相を共通の制御サイクルのもとに調節することで、少ない素子でかつ簡単に回路構成できる。そして、制御サイクル中に上記供給電流、回生電流及びフライホイール電流のいずれかの電流を電磁石に流すことができる。

- [0051] さらに、本発明は、磁気軸受装置に関し、前記複数個の電磁石は、前記正極及び前記共通ノード間に流れる電流と該共通ノード及び前記負極間に流れる電流とがほぼ均等化されるように、前記第1の励磁制御手段により制御される電磁石と前記第2の励磁制御手段により制御される電磁石とにグループ分けして構成されたことを特徴とする。
- [0052] 共通ノードを介して流れる電磁石電流がほぼ均等化するように、複数個の電磁石がグループ分けされるので、切替手段を構成するスイッチ素子や整流素子のサイズを小さくできる。また、これらの素子を介して流れる電流も減らせるので、発熱等も防止できる。さらに、電源から供給すべき電流も減らせるので、入力電源容量を小さくできる。
- [0053] さらに、本発明は、磁気軸受装置に関し、前記電磁石に一定電流が流れたときに該電流の値を検出する電流検出手段を備えて構成した。
- [0054] 電磁石にフライホイール電流を流すことで電磁石電流を一定に保つことができるので、このときに電流検出手段では電磁石電流の検出が行われる。
- 従って、過渡的な状態で電磁石電流の検出を行う必要がないため、検出タイミングと実際の電磁石電流の波形との間にずれ等が生じても、本来検出すべきであった電磁石電流の値に対し大きく誤差を生じることはない。また、検出タイミング付近での電磁石電流の増減の切り替わりを避けられるので、励磁制御手段や正極、負極に生じるノイズを低減して、検出誤差を減らすことができる。
- [0055] さらに、本発明は、磁気軸受装置に関し、前記電流検出手段は、前記負極に一端が接続された抵抗と、該抵抗に流れた電流を検出する検出部とを備えて構成した。
- [0056] このことにより、電流検出手段に高い電圧が入力されることがなくなるので、電磁石電流の検出に際してノイズが乗り難く、精度良く電磁石電流を検出することができる。
- [0057] さらに、本発明は、磁気軸受装置を搭載したターボ分子ポンプであって、前記回転体は、回転翼及び該回転翼の中央に配設されたロータ軸を有し、前記各電磁石は、該ロータ軸を空中に磁気浮上させることを特徴とする。
- [0058] 上述した磁気軸受装置はターボ分子ポンプに搭載されるので、ターボ分子ポンプ全体の小型化を図ることができる。従って、ターボ分子ポンプのクリーンルーム等へ

の設置コストを下げるができる。

[0059] さらに、本発明は、ターボ分子ポンプに関し、前記回転体及び前記電磁石を有するターボ分子ポンプ本体と、前記切替手段及び前記励磁制御手段、又は前記切替手段、前記第1の励磁制御手段及び前記第2の励磁制御手段を有する制御装置とを備え、前記ターボ分子ポンプ本体と制御装置とが一体化されたことを特徴とする。

[0060] 上述した励磁制御手段、又は第1の励磁制御手段及び第2の励磁制御手段は小型化が可能なので、この励磁制御手段等を有する制御装置も小型化が可能である。従って、制御装置とターボ分子ポンプ本体とは一体化が可能となり、ターボ分子ポンプの製造、配置等に必要なコストをさらに減少させることができる。

### 発明の効果

[0061] 以上説明したように本発明によれば、共通ノードの電圧を切り替える切替手段と、供給電流又は回生電流により複数個の電磁石の励磁を制御する励磁制御手段とを備えて構成したので、励磁制御手段を1つのスイッチ素子と1つの整流素子のみで構成しても、切替手段への制御を行いつつ励磁制御手段を制御することで、電磁石電流を増加又は減少させて電磁石の励磁を制御することが可能となる。従って、励磁制御手段の素子数を減らすことができるので、ターボ分子ポンプの製造、設置等に必要なコストを減少させることができる。

[0062] また、電磁石に一定電流が流れたときにこの電流の値を検出する電流検出手段を備えて構成したので、過渡的な状態で電磁石電流の検出を行う必要がなくなり、検出に際しての誤差を減らすことができる。

### 発明を実施するための最良の形態

[0063] 以下、本発明の第1の実施形態について説明する。

本発明の第1実施形態であるアンプ回路の回路図を図1に示す。なお、図11と同一要素のものについては同一符号を付して説明は省略する。

図1において、ターボ分子ポンプ本体200には、各電磁石104、105、106A、106Bを構成する電磁石巻線151、151、…に対して共通のノード(このノードを共通ノードCという)が設けられている。そして、各電磁石巻線151の一端151aが共通ノードCに接続されている。また、電磁石巻線151の他端151bは、アンプ回路250のトランジ

スタ261及びダイオード265に接続されている(この他端151bのノードをノードEという)。

[0064] このとき、トランジスタ261は、パワーMOSFETであり、ドレイン端子261aが電磁石巻線151の他端151bに、ソース端子261bが電流検出回路255を介して電源153の負極153bに接続されている。また、ダイオード265は、電流回生用あるいはフライホイール用のダイオードであり、カソード端子265aが電源153の正極153aに、アノード端子265bが電磁石巻線151の他端151bに接続されている。

[0065] そして、トランジスタ261のソース端子261bに接続されている電流検出回路255は、一端が負極153bに他端がトランジスタ261のソース端子261bに接続された検出抵抗256と、この検出抵抗256の他端の電圧から電磁石電流 $i_L$ を検出する検出部257とを有している。この検出部257は電磁石巻線151に流れる電磁石電流 $i_L$ を検出して、この検出結果である電流検出信号273を後述するアンプ制御回路271に出力するようになっている。なお、このように一端が負極153bに接続された検出抵抗256を有する電流検出回路255を用いることで電流検出回路255に高い電圧が入力されることがなくなるので、電磁石電流 $i_L$ の検出に際してノイズが乗り難く、精度良く電磁石電流 $i_L$ を検出できるようになっている。

以上のようにして構成されるアンプ回路250は、各電磁石104、105、106A、106Bを構成する電磁石巻線151、151、…毎に設けられるようになっている。

[0066] アンプ制御回路271は、従来と同様にDSP部(図示略)内の回路となっている。そして、このアンプ制御回路271は、電流検出回路255で検出した電磁石電流 $i_L$ の値と電流指令値とを比較し、電磁石電流 $i_L$ を増加させる時間(上述した増加時間 $T_{p1}$ )や電磁石電流 $i_L$ を減少させる時間(上述した減少時間 $T_{p2}$ )を決めて、これに基づきPWM制御による1周期である制御サイクル $T_s$ 内にトランジスタ261のゲート端子に出力するゲート駆動信号274のパルス幅時間を決めるようになっている。なお、ゲート駆動信号274を出力するに際しては、アンプ制御回路271からの出力信号を一度図示しないField Programmable Gate Array(以下FPGAという)に介した後にトランジスタ261に出力することで、高速動作できるようにしても良い。

[0067] さらに、図1において、アンプ回路250の共通ノードCに対しては、切替回路280が



接続されている。この切替回路280では、共通ノードCに対してトランジスタ281及びダイオード285が接続されている。

ダイオード285は、電流回生用あるいはフライホイール用のダイオードであり、カソード端子285aが共通ノードCに、アノード端子285bがアンプ回路250と同じ電源153の負極153bに接続されている。また、トランジスタ281は、パワーMOSFETであり、ドレイン端子281aが電源153の正極153aに、ソース端子281bが共通ノードCに接続されている。そして、このトランジスタ281のゲート端子に対してはアンプ制御回路271から切替信号276が出力されるようになっており、アンプ制御回路271ではアンプ回路250に対する制御と同じ制御サイクルTs内にトランジスタ281のゲート端子に出力する切替信号276のパルス幅時間を決めるようになっている。

[0068] かかる構成において、アンプ回路250のトランジスタ261をonにして、切替回路280のトランジスタ281をonにすると、正極153aからトランジスタ281、共通ノードC、電磁石巻線151、トランジスタ261(及び電流検出回路255)を介して負極153bへ電流が流れる。そのため、電磁石巻線151には電源153の正極153aから電流が供給されるので、電磁石電流 $i_L$ が増加する(この状態を増加モードA1という)。

[0069] 一方、アンプ回路250のトランジスタ261をoffにして、切替回路280のトランジスタ281をoffにすると、電磁石巻線151で生じる逆起電力により負極153bからダイオード285、共通ノードC、電磁石巻線151、ダイオード265を介して正極153aへ回生電流が流れる。これにより電磁石巻線151から生じる電磁エネルギーが消費されるので、電磁石電流 $i_L$ が減少する(この状態を減少モードA2という)。

[0070] さらに、アンプ回路250のトランジスタ261をonにして、切替回路280のトランジスタ281をoffにすると、電磁石巻線151で生じる逆起電力により負極153bからダイオード285、共通ノードC、電磁石巻線151、トランジスタ261(及び電流検出回路255)を介して負極153bへフライホイール電流が流れる。このとき、電磁石巻線151の両端151a、151b間には電位差が生じないので、電磁石電流 $i_L$ がほぼ一定に保たれる(この状態を一定モードA3という)。

[0071] また、この一定モードA3以外にも、アンプ回路250のトランジスタ261をoffにして、切替回路280のトランジスタ281をonにすると、電磁石巻線151で生じる逆起電力に

より正極153aからトランジスタ281、共通ノードC、電磁石巻線151、ダイオード265を介して正極153aへフライホイール電流が流れるので、この場合も電磁石電流 $i_L$ がほぼ一定に保たれる(この状態を一定モードA4という)。

[0072] ここで、アンプ回路250によるトランジスタ261等への制御位相と切替回路280によるトランジスタ281等への切替位相との調節を示すタイムチャートを図2に示す。

図2において、切替回路280に対しては、制御サイクル $T_s$ 中にトランジスタ281がonにされる時間とoffにされる時間とが同じ時間となるように制御が行われる。このとき、制御サイクル $T_s$ の始めの時間(時間0)から制御サイクル $T_s$ の半分の時間(時間 $0.5T_s$ )まではトランジスタ281がoffにされる。そのため、共通ノードCの電圧は、電磁石巻線151で生じる逆起電力等により負極153bと略同じ電圧(以下、電圧 $V_L$ という)になる。一方、制御サイクル $T_s$ の半分の時間(時間 $0.5T_s$ )から制御サイクル $T_s$ の終わり(時間 $T_s$ )まではトランジスタ281がonにされる。そのため、共通ノードCの電圧は、正極153aと略同じ電圧(以下、電圧 $V_H$ という)になる。

[0073] そして、電流検出回路255で検出した電磁石電流 $i_L$ の値が電流指令値よりも小さい場合には、アンプ制御回路271で電磁石電流 $i_L$ を増加させるように制御が行われる。この場合には、1制御サイクル $T_s$ 中で上述した増加時間 $T_{p1}$ だけ増加モードA1の状態となるように制御が行われ、他の時間は一定モードA3、A4いずれかの状態となるように制御が行われる。具体的には、時間 $0.5T_s$ 〜時間 $T_s$ では切替回路280のトランジスタ281がonにされているので、時間 $0.5T_s$ を始点に時間 $T_{p1}$ だけトランジスタ261をonにすることで増加時間 $T_{p1}$ だけ増加モードA1の状態とする。また、この時間 $T_{p1}$ 経過後は、トランジスタ261をoffにすることで一定モードA4の状態とする。一方、時間 $0$ 〜時間 $0.5T_s$ では、切替回路280のトランジスタ281がoffにされているので(すなわち増加モードA1の状態にはできないので)、トランジスタ261をonにすることで一定モードA3の状態とする。これにより、1制御サイクル $T_s$ 中に増加時間 $T_{p1}$ だけ電磁石電流 $i_L$ が増加される。

[0074] 一方、電流検出回路255で検出した電磁石電流 $i_L$ の値が電流指令値よりも大きい場合には、アンプ制御回路271で電磁石電流 $i_L$ を減少させるように制御が行われる。この場合には、1制御サイクル $T_s$ 中で上述した減少時間 $T_{p2}$ だけ減少モードA2の

状態となるように制御が行われ、他の時間は一定モードA3、A4いずれかの状態となるように制御が行われる。具体的には、時間0〜時間0.5Tsでは切替回路280のトランジスタ281がoffにされているので、時間0.5Tsを終点に時間Tp2だけトランジスタ261をoffにすることで減少時間Tp2だけ減少モードA2の状態とする。また、トランジスタ261をoffにするまでの時間は、トランジスタ261をonにすることで一定モードA3の状態とする。一方、時間0.5Ts〜時間Tsでは、切替回路280のトランジスタ281がonにされているので(すなわち減少モードA2の状態にはできないので)、トランジスタ261をoffにすることで一定モードA4の状態とする。これにより、1制御サイクルTs中に減少時間Tp2だけ電磁石電流iLが減少される。

[0075] さらに、電流検出回路255で検出した電磁石電流iLの値が電流指令値と一致している場合には、アンプ制御回路271で電磁石電流iLを一定に保つように制御が行われる。この場合には、1制御サイクルTs中で常に一定モードA3、A4いずれかの状態となるように制御が行われる。具体的には、時間0〜時間0.5Tsでは切替回路280のトランジスタ281がoffにされているので、トランジスタ261をonにすることで一定モードA3の状態とする。一方、時間0.5Ts〜時間Tsでは、切替回路280のトランジスタ281がonにされているので、トランジスタ261をoffにすることで一定モードA4の状態とする。これにより、電磁石電流iLが一定に保たれる。

[0076] 以上により、アンプ回路250を1つのトランジスタ261と1つのダイオード265のみで構成しても、切替回路280への制御を行いつつアンプ回路250を制御することで、電磁石電流iLを増加、減少、一定に維持させることができ、電磁石電流iLの値を電流指令値と一致させることができる。そして、このようなアンプ回路250の構成によりアンプ回路250の素子数が減少するのでターボ分子ポンプ全体の小型化が可能となり、ターボ分子ポンプのクリーンルーム等への設置コストを下げることができる。また、アンプ回路250の素子数が減るため、その故障率を下げたり、アンプ回路250での消費電力や発熱を下げることもできる。さらに、アンプ回路250の製造コストも下げられる。

[0077] また、本実施形態のアンプ回路250の制御では従来のアンプ回路150への制御と異なり電磁石電流iLを一定に保つことができるので、共通ノードCを介して流れる電

流のリップルを減らすことができ、アンプ回路250や切替回路280での消費電力や発熱を減らすことができる。

[0078] さらに、本発明の切替回路280は、いわゆるレギュレータの回路ではない(すなわち共通ノードCを一定電圧に維持するような回路ではない)ので、共通ノードCに対して安定化のためのコンデンサ(図示略)を設けたり、保護用のチョークコイル(図示略)等を設ける必要がない。そのため、部品コスト等を下げることができる。

[0079] また、アンプ回路250及び電磁石巻線151間の配線は、共通ノードCの1本及び電磁石巻線151の他端151bのノードEの10本のみとなるため、共通ノードC、ノードEとしての配線が11本のみとなる(従来は20本必要だった)。従って、制御装置及びターボ分子ポンプ本体200間のケーブルコストや、ターボ分子ポンプ本体200のコネクタ(図示略)のコストを下げるできるので、部品コストを下げる可以降低。さらに、アンプ回路250の小型化により制御装置(図示略)自体が小型化されるため、制御装置の機能を容易にターボ分子ポンプ本体200側に組み入れることができる。従って、制御装置とターボ分子ポンプ本体200の一体化が可能である。

[0080] 加えて、本実施形態のアンプ回路250でも、図2に示すように制御サイクルTs中に1回同じ検出タイミングTdで電磁石電流 $i_L$ の検出が行われるが、本実施形態のアンプ回路250では電磁石電流 $i_L$ を一定に保つことができる。そのため、電磁石電流 $i_L$ が一定の状態にあるとき(すなわち一定モードA3の状態にあるとき)に電磁石電流 $i_L$ の検出を行うことができる(なお、一定モードA4では電流検出回路255に電磁石電流 $i_L$ が供給されないので電流検出は行えない)。

[0081] 従って、過渡的な状態で電磁石電流 $i_L$ の検出を行う必要がないため、検出タイミングTdと実際の電磁石電流 $i_L$ の波形との間にずれ等が生じて、本来検出すべきであった電磁石電流 $i_L$ の値に対し大きく誤差を生じることはない。また、検出タイミングTd付近での電磁石電流 $i_L$ の増減の切り替わりを避けられるので、アンプ回路250や電源153に生じるノイズを低減して、検出誤差を減らすことができる。

[0082] なお、本実施形態では、切替回路280はトランジスタ281及びダイオード285からなるとして説明してきたが、これに限られない。例えば、図3に示すように、上記構成に加えてドレイン端子282aが共通ノードCに、ソース端子282bが負極153bに接続

されたトランジスタ282を設けても良い。これにより、アンプ制御回路271からトランジスタ282のゲート端子に切替信号277を出力してこれを制御し、減少モードA2や一定モードA3の状態ダイオード285に電流が流れるときにトランジスタ282をonにさせる(すなわち同期整流方式で制御する)ことで、上記モードでのダイオード285の発熱を抑えることができる。

[0083] また、本実施形態においては、アンプ回路250に対しては、時間 $0.5T_s$ を始点あるいは終点として増加時間 $T_{p1}$ 、減少時間 $T_{p2}$ を設けていたが、これに限られず、それぞれ時間 $T_s$ を終点としたり時間0を始点としたりして増加時間 $T_{p1}$ 、減少時間 $T_{p2}$ を設けるようにしても良い。

[0084] さらに、本実施形態においては、電磁石電流 $i_L$ が一定の状態にあるとき(すなわち一定モードA3の状態にあるとき)に電磁石電流 $i_L$ の検出が行われるとして説明したが、さらに具体的に次のように行っても良い。すなわち、アンプ回路250及び切替回路280に対して制御サイクル $T_s$ 中に強制的に一定モードA3の状態を作る制御を行って、この期間中に電磁石電流 $i_L$ の検出を行うようにしても良い。この場合、強制的に一定モードA3の状態とする時間は、電流検出回路255で電磁石電流 $i_L$ の検出を行い得る時間であれば良いが、例えば図4に示すように制御サイクル $T_s$ 中の時間0～時間 $0.1T_s$ とする。そして、この時間0～時間 $0.1T_s$ に検出タイミング $T_d$ を設けて電磁石電流 $i_L$ の検出を行う。その後、残りの時間(時間 $0.1T_s$ ～時間 $T_s$ )において上述した制御と同じように、例えば時間 $0.1T_s$ ～時間 $0.55T_s$ (残り時間の前半)ではトランジスタ281をonにし、時間 $0.55T_s$ ～時間 $T_s$ (残り時間の後半)ではトランジスタ281をoffにして、時間 $0.55T_s$ (残り時間の半分の時間)を始点あるいは終点等として時間 $T_{p1}$ 、 $T_{p2}$ を設けるようにすれば良い。このことにより、確実に一定モードA3の状態において電磁石電流 $i_L$ の検出を行うことができる。

[0085] 次に、本発明の第2の実施形態について説明する。第2実施形態は、第1実施形態であるアンプ回路250及び切替回路280の別例である。

本発明の第2実施形態であるアンプ回路の回路図を図5に示す。なお、図1と同一要素のものについては同一符号を付して説明は省略する。

図5において、アンプ回路350では、電磁石巻線151の一端151aが共通ノードC

に接続されている。また、この電磁石巻線151の他端151bが、トランジスタ361及びダイオード365に接続されている(この他端151bのノードをノードFという)。

[0086] このとき、トランジスタ361は、パワーMOSFETであり、ドレイン端子361aが電源153の正極153aに、ソース端子361bが電磁石巻線151の他端151bに接続されている。また、ダイオード365は、電流回生用あるいはフライホイール用のダイオードであり、カソード端子365aが電磁石巻線151の他端151bに、アノード端子365bが電流検出回路255を介して電源153の負極153bに接続されている。

[0087] さらに、このアンプ回路350の共通ノードCに対しては、切替回路380が接続されている。この切替回路380では、共通ノードCに対してトランジスタ381及びダイオード385が接続されている。

トランジスタ381は、パワーMOSFETであり、ドレイン端子381aが共通ノードCに、ソース端子381bがアンプ回路350と同じ電源153の負極153bに接続されている。また、トランジスタ381のゲート端子には、アンプ制御回路371からの切替信号376が入力されている。さらに、ダイオード385は、電流回生用あるいはフライホイール用のダイオードであり、カソード端子385aが電源153の正極153aに、アノード端子385bが共通ノードCに接続されている。

[0088] かかる構成において、アンプ回路350のトランジスタ361をonにして、切替回路380のトランジスタ381をonにすると、正極153aからトランジスタ361、電磁石巻線151、共通ノードC、トランジスタ381を介して負極153bへ電流が供給される。そのため、電磁石巻線151には電源153の正極153aから電流が供給されるので、電磁石電流 $i_L$ が増加する(この状態を増加モードB1という)。

[0089] 一方、アンプ回路350のトランジスタ361をoffにして、切替回路380のトランジスタ381をoffにすると、電磁石巻線151で生じる逆起電力により負極153bから(電流検出回路255及び)ダイオード365、電磁石巻線151、共通ノードC、ダイオード385を介して正極153aへ回生電流が流れる。これにより電磁石巻線151から生じる電磁エネルギーが消費されるので、電磁石電流 $i_L$ が減少する(この状態を減少モードB2という)。

[0090] さらに、アンプ回路350のトランジスタ361をoffにして、切替回路380のトランジスタ

381をonにすると、電磁石巻線151で生じる逆起電力により負極153bから(電流検出回路255及び)ダイオード365、電磁石巻線151、共通ノードC、トランジスタ381を介して負極153bへフライホイール電流が流れる。このとき、電磁石巻線151の両端151a、151b間には電位差が生じないので、電磁石電流 $i_L$ がほぼ一定に保たれる(この状態を一定モードB3という)。

[0091] また、この一定モードB3以外にも、アンプ回路350のトランジスタ361をonにして、切替回路380のトランジスタ381をoffにすると、電磁石巻線151で生じる逆起電力により正極153aからトランジスタ361、電磁石巻線151、共通ノードC、ダイオード385を介して正極153aへフライホイール電流が流れるので、この場合も電磁石電流 $i_L$ がほぼ一定に保たれる(この状態を一定モードB4という)。

[0092] ここで、アンプ回路350によるトランジスタ361等への制御位相と切替回路380によるトランジスタ381等への切替位相との調節を示すタイムチャートを図6に示す。

図6において、切替回路380に対しては、本実施形態においても制御サイクル $T_s$ 中にトランジスタ381がonにされる時間とoffにされる時間とが同じ時間となるように制御が行われる。このとき、時間0〜時間 $0.5T_s$ ではトランジスタ381がonにされて共通ノードCの電圧が負極153bと略同じ電圧 $V_L$ にされ、時間 $0.5T_s$ 〜時間 $T_s$ では電磁石巻線151で生じる逆起電力等により共通ノードCの電圧が正極153aと略同じ電圧 $V_H$ にされる。この共通ノードCの遷移は、第1実施形態(図2)と同様である。

[0093] そして、電流検出回路255で検出した電磁石電流 $i_L$ の値が電流指令値よりも小さい場合には、アンプ制御回路371で電磁石電流 $i_L$ を増加させるように制御が行われる。この場合には、1制御サイクル $T_s$ 中で増加時間 $T_{p1}$ だけ増加モードB1の状態となるように制御が行われ、他の時間は一定モードB3、B4いずれかの状態となるように制御が行われる。具体的には、時間0〜時間 $0.5T_s$ では切替回路380のトランジスタ381がonにされているので、時間 $0.5T_s$ を終点に時間 $T_{p1}$ だけトランジスタ361をonにすることで増加時間 $T_{p1}$ だけ増加モードB1の状態とする。また、トランジスタ361をonにするまでの時間は、トランジスタ361をoffにすることで一定モードB3の状態とする。一方、時間 $0.5T_s$ 〜時間 $T_s$ では、切替回路380のトランジスタ381がoffにされているので、トランジスタ361をonにすることで一定モードB4の状態とする。こ

れにより、1制御サイクル $T_s$ 中に増加時間 $T_{p1}$ だけ電磁石電流 $i_L$ が増加される。

- [0094] 一方、電流検出回路255で検出した電磁石電流 $i_L$ の値が電流指令値よりも大きい場合には、アンプ制御回路371で電磁石電流 $i_L$ を減少させるように制御が行われる。この場合には、1制御サイクル $T_s$ 中で減少時間 $T_{p2}$ だけ減少モードB2の状態となるように制御が行われ、他の時間は一定モードB3、B4いずれかの状態となるように制御が行われる。具体的には、時間 $0.5T_s$ ～時間 $T_s$ では切替回路380のトランジスタ381がoffにされているので、時間 $0.5T_s$ を始点に時間 $T_{p2}$ だけトランジスタ361をoffにすることで減少時間 $T_{p2}$ だけ減少モードB2の状態とする。また、この時間 $T_{p2}$ 経過後は、トランジスタ361をonにすることで一定モードB4の状態とする。一方、時間 $0$ ～時間 $0.5T_s$ では、切替回路380のトランジスタ381がonにされているので、トランジスタ361をoffにすることで一定モードB3の状態とする。これにより、1制御サイクル $T_s$ 中に減少時間 $T_{p2}$ だけ電磁石電流 $i_L$ が減少される。

- [0095] さらに、電流検出回路255で検出した電磁石電流 $i_L$ の値が電流指令値と一致している場合には、アンプ制御回路371で電磁石電流 $i_L$ を一定に保つように制御が行われる。この場合には、1制御サイクル $T_s$ 中で常に一定モードB3、B4いずれかの状態となるように制御が行われる。具体的には、時間 $0$ ～時間 $0.5T_s$ では切替回路380のトランジスタ381がonにされているので、トランジスタ361をoffにすることで一定モードB3の状態とする。一方、時間 $0.5T_s$ ～時間 $T_s$ では、切替回路380のトランジスタ381がoffにされているので、トランジスタ361をonにすることで一定モードB4の状態とする。これにより、電磁石電流 $i_L$ が一定に保たれる。

- [0096] 以上により、第1実施形態(図1)と異なるアンプ回路350及び切替回路380でも、電磁石電流 $i_L$ を増加、減少、一定に維持させることが可能となる。そして、アンプ回路350も1つのトランジスタ361と1つのダイオード365のみで構成されるので、アンプ回路350の素子数を減らすことができ、ターボ分子ポンプの製造、設置等に必要なコストを下げるができる。このため、設計容易なアンプ回路250、350を選択可能であり、かつその制御においても容易な構成を選択可能となる。

- [0097] 加えて、本実施形態のアンプ回路350でも第1実施形態と同様に電磁石電流 $i_L$ を一定に保つことができるので、この電磁石電流 $i_L$ が一定の状態にあるとき(すなわち



一定モードB3の状態にあるとき)に電磁石電流 $i_L$ の検出を行うことができる。従って、過渡的な状態で電磁石電流 $i_L$ の検出を行う必要がないので、電磁石電流 $i_L$ の検出に際して誤差を減らすことができる。

[0098] なお、本実施形態では、切替回路380はトランジスタ381及びダイオード385からなるとして説明してきたが、これに限られず、図7に示すようにドレイン端子382aが正極153aに、ソース端子382bが共通ノードCに接続されたトランジスタ382を設けても良い。これにより、トランジスタ382のゲート端子に切替信号377を出力して同期整流方式で制御することで、減少モードB2や一定モードB4でのダイオード385の発熱を抑えることができる。

[0099] また、本実施形態においても、電磁石電流 $i_L$ が一定の状態にあるときに電磁石電流 $i_L$ の検出が行われるとして説明したが、第1実施形態で説明したのと同様に(図4)、アンプ回路350及び切替回路380に対して制御サイクル $T_s$ 中に強制的に一定モードB3の状態を作る制御を行って、この期間中に電磁石電流 $i_L$ の検出を行っても良い。このことにより、確実に一定モードB3の状態において電磁石電流 $i_L$ の検出を行うことができる。

[0100] 次に、本発明の第3の実施形態について説明する。第1実施形態及び第2実施形態では、各電磁石104、105、106A、106Bを構成する電磁石巻線151、151、…が1種類のアンプ回路250、350で制御されるものであったが、第3実施形態では、電磁石104、105、106A、106Bの配置毎に適宜2つのグループに分けられ、それぞれのグループが第1実施形態と同じ構成を有するアンプ回路250(図1)や第2実施形態と同じ構成を有するアンプ回路350(図5)により制御されるものである。

[0101] 本発明の第3実施形態であるアンプ回路の回路図を図8に示す。なお、図1、図5と同一要素のものについては同一符号を付して説明は省略する。

図8において、各電磁石104、105、106A、106Bを構成する複数の電磁石巻線151、151、…に対して、第1実施形態と同じ構成を有するアンプ回路250(図1)と、第2実施形態と同じ構成を有するアンプ回路350(図5)とが組み合わされている。そして、これら複数の電磁石巻線151、151、…が2つのグループに分けられている(アンプ回路250からの制御を受ける電磁石巻線151、151、…をグループAといい、ア

ンプ回路350からの制御を受ける電磁石巻線151、151、…をグループBという)。

[0102] ここで、このグループ分けの仕方について具体的な例を挙げて説明する。一例として、上側径方向電磁石104のX軸正側電磁石104X+、負側電磁石104X-、及び下側径方向電磁石105のX軸正側電磁石105X+、負側電磁石105X-について説明する。

[0103] 例えば、回転体103全体をX軸の+方向に位置制御する場合には、電磁石104X+、105X+に流れる電磁石電流 $i_L$ を増加させ、電磁石104X-、105X-に流れる電磁石電流 $i_L$ を減少させる。逆に、回転体103全体をX軸の-方向に位置制御する場合には、電磁石104X+、105X+に流れる電磁石電流 $i_L$ を減少させ、電磁石104X-、105X-に流れる電磁石電流 $i_L$ を増加させる。このように上側径方向電磁石104と下側径方向電磁石105のX軸方向への制御は同様の制御となることが多い。

[0104] 従って、例えば電磁石104X+をグループAとした場合には電磁石105X+をグループBとすることで、電磁石電流 $i_L$ の増加時にグループAで共通ノードCから負極153bへ電流が流れたときにグループBで正極153aから共通ノードCへ電流が流れるようになるので、共通ノードCを介して流れる電磁石電流 $i_L$ が均等化される。このことは、電磁石電流 $i_L$ の減少時や電磁石電流 $i_L$ を一定にする場合でも同様である。また、電磁石104X+をグループBに、電磁石105X+をグループAにした場合でも同様である。

[0105] そのため、上側径方向電磁石104及び下側径方向電磁石105のうち、電磁石104X+と電磁石105X+は互いに異なるグループに分けられている。また、他の電磁石104X-と電磁石105X-、Y軸側の電磁石104Y+と電磁石105Y+、電磁石104Y-と電磁石105Y-についても同様のことがいえるので、それぞれ異なるグループに分けられている。

[0106] 一方、X軸正側電磁石104X+と負側電磁石104X-との関係について、回転体103をX軸正方向に位置制御する場合、電磁石104X+の電磁石電流 $i_L$ が増加され、電磁石104X-の電磁石電流 $i_L$ が減少される傾向にあるので、これらを同じグループに入れることで共通ノードCを介して流れる電磁石電流 $i_L$ が均等化され易い。そのため、上側径方向電磁石104及び下側径方向電磁石105のうち、電磁石104X+と

電磁石104 $\bar{1}$ は互いに同じグループに分けられている。また、他の電磁石104Y $+$ と電磁石104Y $\bar{1}$ 、下側径方向電磁石105の電磁石105X $+$ と電磁石105X $\bar{1}$ 、電磁石105Y $+$ と電磁石105Y $\bar{1}$ 、さらには軸方向電磁石106A及び軸方向電磁石106Bについても同様のことがいえるので、それぞれ同じグループに分けられている。

[0107] そして、以上のようにして各グループA、Bに分けられた電磁石巻線151、151、…の一端151a、151a、…は、ともに共通ノードCに接続されている。また、この共通ノードCに対しては、切替回路480が接続されている。

この切替回路480では、共通ノードCに対して第1実施形態の切替回路280と同じ構成を有するトランジスタ281及びダイオード285と、第2実施形態の切替回路380と同じ構成を有するトランジスタ381及びダイオード385とが組み合わされて接続されている。また、これらのトランジスタ281、381のゲート端子に対しては、アンプ制御回路471からそれぞれ切替信号276、376が出力されている。このアンプ制御回路471は、第1実施形態のアンプ制御回路271と第2実施形態のアンプ制御回路371との機能を合わせ持った回路となっている。

[0108] かかる構成において、切替回路480によるトランジスタ281、381等への切替位相の調節を示すタイムチャートを図9に示す。

図9において、切替回路480に対しては、制御サイクル $T_s$ 中にトランジスタ381がonにされる時間とトランジスタ281がonにされる時間とが同じ時間となるように制御が行われる。このとき、時間0～時間0.5 $T_s$ ではトランジスタ281がoff、トランジスタ381がonにされ、時間0.5 $T_s$ ～時間 $T_s$ ではトランジスタ281がon、トランジスタ381がoffにされる。この場合、正極153a及び負極153b間に貫通電流が流れてノイズ等が発生しないように、トランジスタ381がoffにされてからトランジスタ281がonにされるまでの間(時間0.5 $T_s$ 付近)や、トランジスタ281がoffにされてからトランジスタ381がonにされるまでの間(時間0、時間 $T_s$ 付近)には、両トランジスタ281、381がともにoffにされるデッドタイムが設けられることが望ましい(図示略)。

[0109] そして、このような切替回路480への制御により、共通ノードCは時間0～時間0.5 $T_s$ では電圧 $V_L$ に、時間0.5 $T_s$ ～時間 $T_s$ では電圧 $V_H$ になるように遷移する。従って、この共通ノードCの遷移は第1実施形態(図2)及び第2実施形態(図6)と同様と

なる。そのため、アンプ回路250に対しては第1実施形態で説明したものと同様の制御を行うことで、電磁石電流 $i_L$ を増加、減少、一定に維持させることが可能となる。また、アンプ回路350に対しても第2実施形態で説明したものと同様の制御を行うことで、電磁石電流 $i_L$ を増加、減少、一定に維持させることが可能となる。このことから、各アンプ回路250、350が1つのトランジスタ261、361と1つのダイオード265、365で構成されるので、アンプ回路250、350の素子数を減らすことができ、ターボ分子ポンプの製造、設置等に必要なコストを下げるができる。

[0110] また、電磁石電流 $i_L$ の検出に際しても、電磁石電流 $i_L$ を一定に保つことができるので、それぞれのアンプ回路250、350が一定モードA3、B3の状態にあるときに電磁石電流 $i_L$ の検出を行うことができる。従って、いずれのアンプ回路250、350においても過渡的な状態で電磁石電流 $i_L$ の検出を行う必要がないので、電磁石電流 $i_L$ の検出に際して誤差を減らすことができる。特に、各アンプ回路250、350は制御サイクル $T_s$ 中の時間0以降すぐに一定モードA3、B3の状態となるため、共通の検出タイミング $T_d$ で電磁石電流 $i_L$ の検出を行うことができ、検出タイミング $T_d$ の制御を簡単に行うことができる。

[0111] さらに、各電磁石104、105、106A、106Bを構成する電磁石巻線151、151、…について適宜グループ分けを行うことで共通ノードCを介して流れる電磁石電流 $i_L$ が均等化できるので、トランジスタ281、381やダイオード285、385のサイズを小さく構成でき、ターボ分子ポンプの一層の小型化を図ることができる。また、これらの素子を介して流れる電流も減らせるので、発熱等を防止できる。さらに、電源153から供給すべき電流も減らせるので、入力電源容量を小さくできる。

[0112] なお、本実施形態においては、電磁石電流 $i_L$ が一定の状態にあるときに電磁石電流 $i_L$ の検出が行われるとして説明したが、第1実施形態等で説明したのと同様に(図4)、アンプ回路250、350及び切替回路480に対して制御サイクル $T_s$ 中に強制的に一定モードA3、B3の状態を作る制御を行って、この期間中に電磁石電流 $i_L$ の検出を行っても良い。

#### 図面の簡単な説明

[0113] [図1]本発明の第1実施形態のアンプ回路の回路図

[図2]本発明の第1実施形態のアンプ回路の制御位相と切替回路の切替位相との調節を示すタイムチャート

[図3]図1の別例

[図4]図2の別例

[図5]本発明の第2実施形態のアンプ回路の回路図

[図6]本発明の第2実施形態のアンプ回路の制御位相と切替回路の切替位相との調節を示すタイムチャート

[図7]図5の別例

[図8]本発明の第3実施形態のアンプ回路の回路図

[図9]本発明の第3実施形態の切替回路の切替位相の調節を示すタイムチャート

[図10]ターボ分子ポンプ本体の縦断面図

[図11]従来のアンプ回路の回路図

[図12]従来のアンプ回路の制御を示すタイムチャート

#### 符号の説明

- [0114]           100、200   ターボ分子ポンプ本体
- 102   回転翼
- 103   回転体
- 104、105、106A、106B   電磁石
- 113   ロータ軸
- 150、250、350   アンプ回路
- 151   電磁石巻線
- 153   電源
- 155、255   電流検出回路
- 161、162、261、281、282、361、381、382   トランジスタ
- 165、166、265、285、365、385   ダイオード
- 171、271、371、471   アンプ制御回路
- 280、380、480   切替回路

## 請求の範囲

- [1] 回転体と、  
該回転体の半径方向位置及び／又は軸方向位置を制御する複数個の電磁石と、  
該電磁石に電力を供給する電源と、  
前記電磁石の一端が共通に接続された共通ノードと、  
該共通ノードの電圧を切り替える切替手段と、  
前記一つの電磁石の他端から前記電源の負極へ供給される供給電流又は前記一つの電磁石の他端から前記電源の正極へ回生される回生電流により、前記各電磁石の励磁を制御する励磁制御手段とを備え、  
前記切替手段は、  
前記正極及び前記共通ノード間を断接する第1のスイッチ素子と、  
前記負極から前記共通ノードへの向きに電流を流す第1の整流素子とを有し、  
前記励磁制御手段は、  
前記一つの電磁石の他端及び前記負極間を断接する第2のスイッチ素子と、  
前記一つの電磁石の他端から前記正極への向きに電流を流す第2の整流素子とを有することを特徴とする磁気軸受装置。
- [2] 回転体と、  
該回転体の半径方向位置及び／又は軸方向位置を制御する複数個の電磁石と、  
該電磁石に電力を供給する電源と、  
前記電磁石の一端が共通に接続された共通ノードと、  
該共通ノードの電圧を切り替える切替手段と、  
前記電源の正極から前記一つの電磁石の他端へ供給される供給電流又は前記電源の負極から前記一つの電磁石の他端へ回生される回生電流により、前記各電磁石の励磁を制御する励磁制御手段とを備え、  
前記切替手段は、  
前記共通ノード及び前記負極間を断接する第1のスイッチ素子と、  
前記共通ノードから前記正極への向きに電流を流す第1の整流素子とを有し、  
前記励磁制御手段は、

前記正極及び前記一つの電磁石の他端間を断接する第2のスイッチ素子と、  
前記負極から前記一つの電磁石の他端への向きに電流を流す第2の整流素子とを  
有することを特徴とする磁気軸受装置。

[3] 前記切替手段の切替位相及び前記励磁制御手段の制御位相を共通の制御サイクルのもとに調節することにより、前記各電磁石に流れる電流を増加、減少又は一定に維持することを特徴とする請求項1又は請求項2記載の磁気軸受装置。

[4] 前記第1の整流素子には並列に第3のスイッチ素子が備えられたことを特徴とする請求項1、2又は3記載の磁気軸受装置。

[5] 回転体と、  
該回転体の半径方向位置及び／又は軸方向位置を制御する複数個の電磁石と、  
該電磁石に電力を供給する電源と、  
前記電磁石の一端が共通に接続された共通ノードと、  
該共通ノードの電圧を切り替える切替手段と、  
前記一つの電磁石の他端から前記電源の負極へ供給される供給電流又は前記一つの電磁石の他端から前記電源の正極へ回生される回生電流により、前記複数個の電磁石のうち少なくとも1個の励磁を制御する第1の励磁制御手段と、  
前記正極から前記他の一つの電磁石の他端へ供給される供給電流又は前記負極から前記他の一つの電磁石の他端へ回生される回生電流により、前記第1の励磁制御手段により励磁制御される電磁石以外の電磁石の励磁を制御する第2の励磁制御手段とを備え、  
前記切替手段は、  
前記共通ノード及び前記負極間を断接するスイッチ素子と、前記正極及び前記共通ノード間を断接するスイッチ素子と、  
前記共通ノードから前記正極への向きの電流、及び前記負極から前記共通ノードへの向きの電流をそれぞれ流す整流素子とを有し、  
前記第1の励磁制御手段は、  
前記一つの電磁石の他端及び前記負極間を断接するスイッチ素子と、  
前記一つの電磁石の他端から前記正極への向きに電流を流す整流素子とを有し、

前記第2の励磁制御手段は、

前記正極及び前記他の一つの電磁石の他端間を断接するスイッチ素子と、

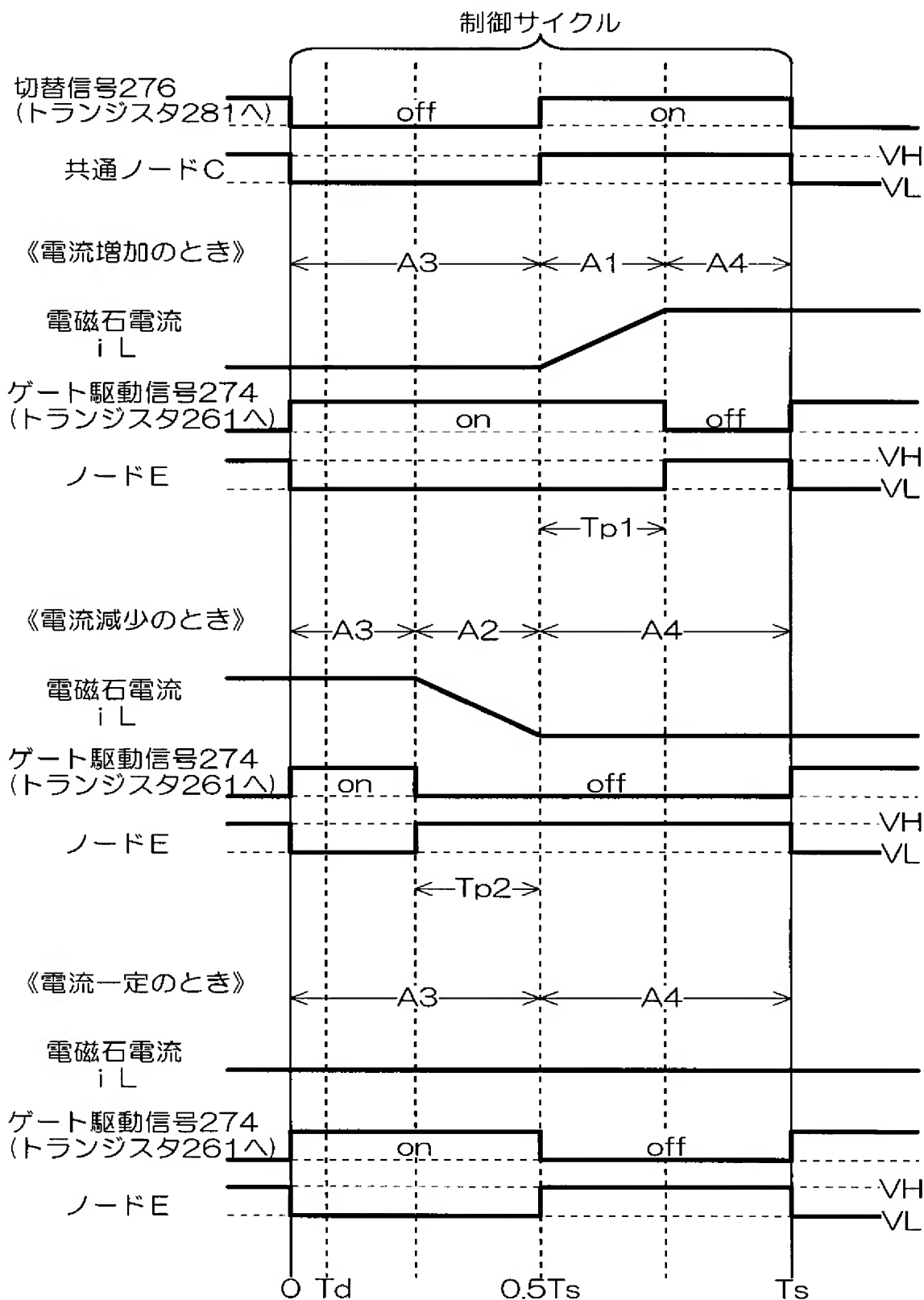
前記負極から前記他の一つの電磁石の他端への向きに電流を流す整流素子とを有することを特徴とする磁気軸受装置。

- [6] 前記切替手段の切替位相、前記第1の励磁制御手段及び前記第2の励磁制御手段の制御位相を共通の制御サイクルのもとに調節することにより、前記各電磁石に流れる電流を増加、減少又は一定に維持することを特徴とする請求項5記載の磁気軸受装置。
- [7] 前記複数個の電磁石は、前記正極及び前記共通ノード間に流れる電流と該共通ノード及び前記負極間に流れる電流とがほぼ均等化されるように、前記第1の励磁制御手段により制御される電磁石と前記第2の励磁制御手段により制御される電磁石とにグループ分けして構成されたことを特徴とする請求項5又は請求項6記載の磁気軸受装置。
- [8] 前記電磁石に一定電流が流れたときに該電流の値を検出する電流検出手段を備えたことを特徴とする請求項1〜7のいずれか1項に記載の磁気軸受装置。
- [9] 前記電流検出手段は、前記負極に一端が接続された抵抗と、該抵抗に流れた電流を検出する検出部とを備えたことを特徴とする請求項8記載の磁気軸受装置。
- [10] 請求項1〜9のいずれか1項に記載の磁気軸受装置を搭載したターボ分子ポンプであって、  
前記回転体は、回転翼及び該回転翼の中央に配設されたロータ軸を有し、  
前記各電磁石は、該ロータ軸を空中に磁気浮上させることを特徴とするターボ分子ポンプ。
- [11] 前記回転体及び前記電磁石を有するターボ分子ポンプ本体と、  
前記切替手段及び前記励磁制御手段、又は前記切替手段、前記第1の励磁制御手段及び前記第2の励磁制御手段を有する制御装置とを備え、  
前記ターボ分子ポンプ本体と制御装置とが一体化されたことを特徴とする請求項10記載のターボ分子ポンプ。

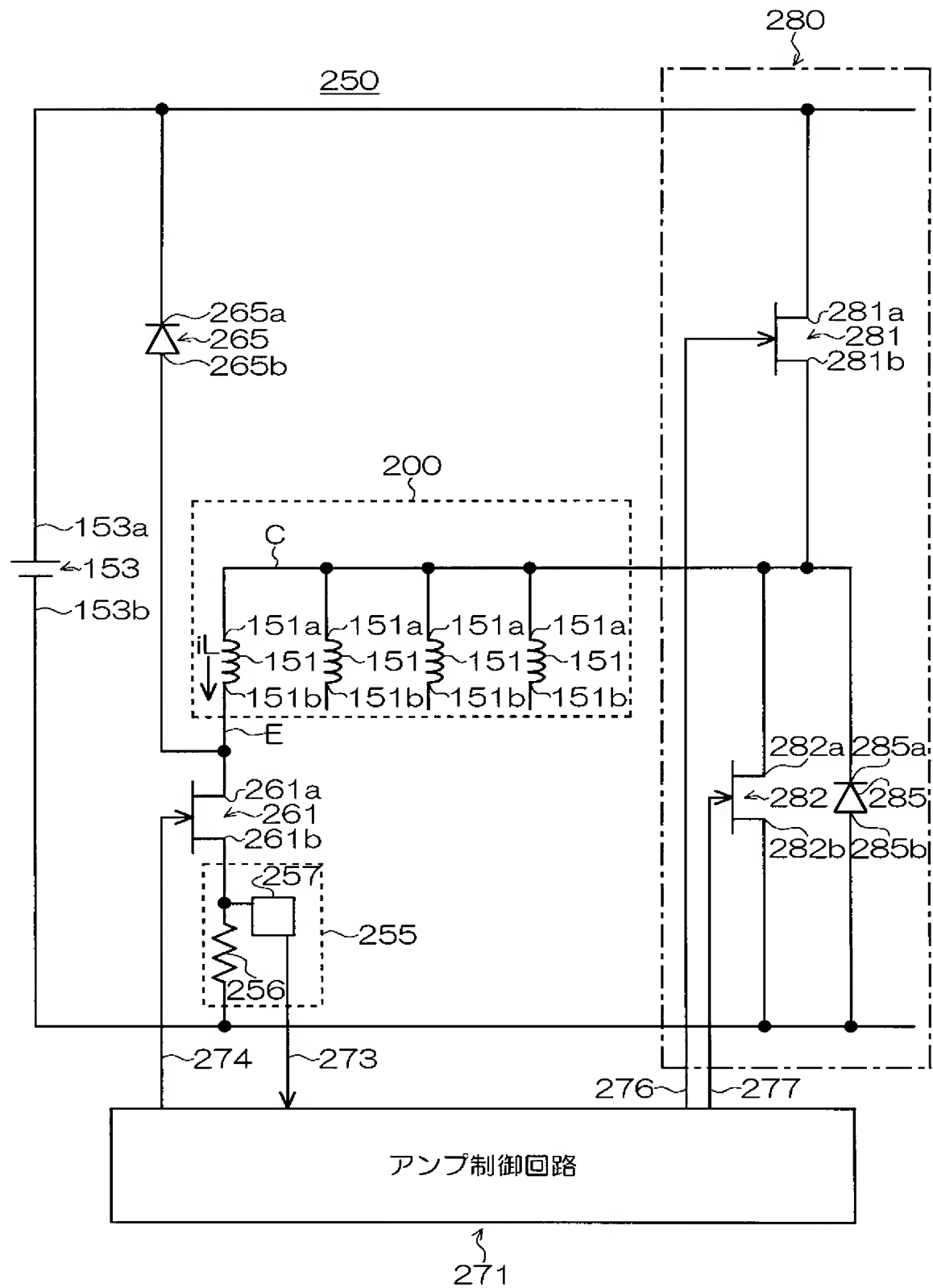




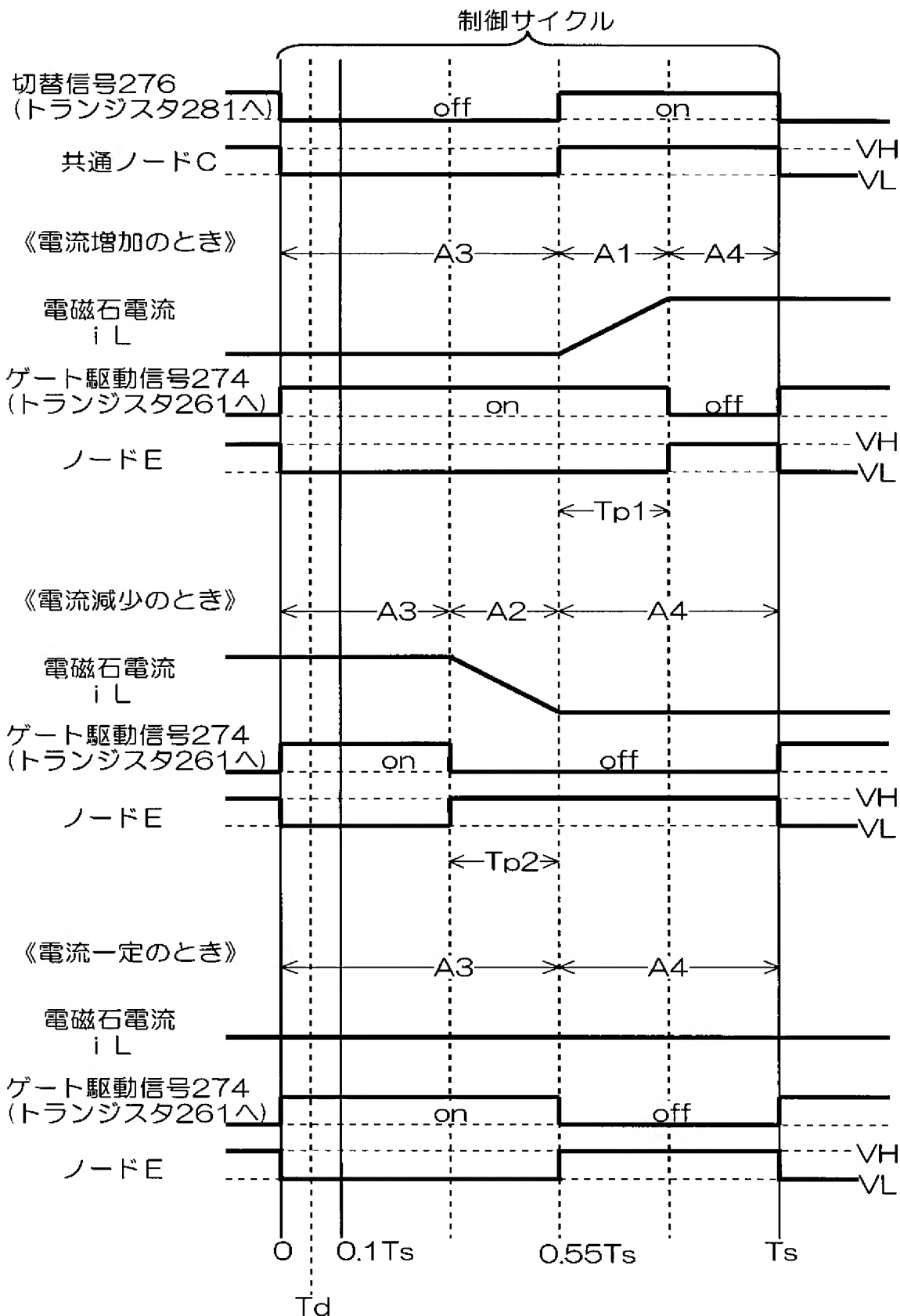
[図2]



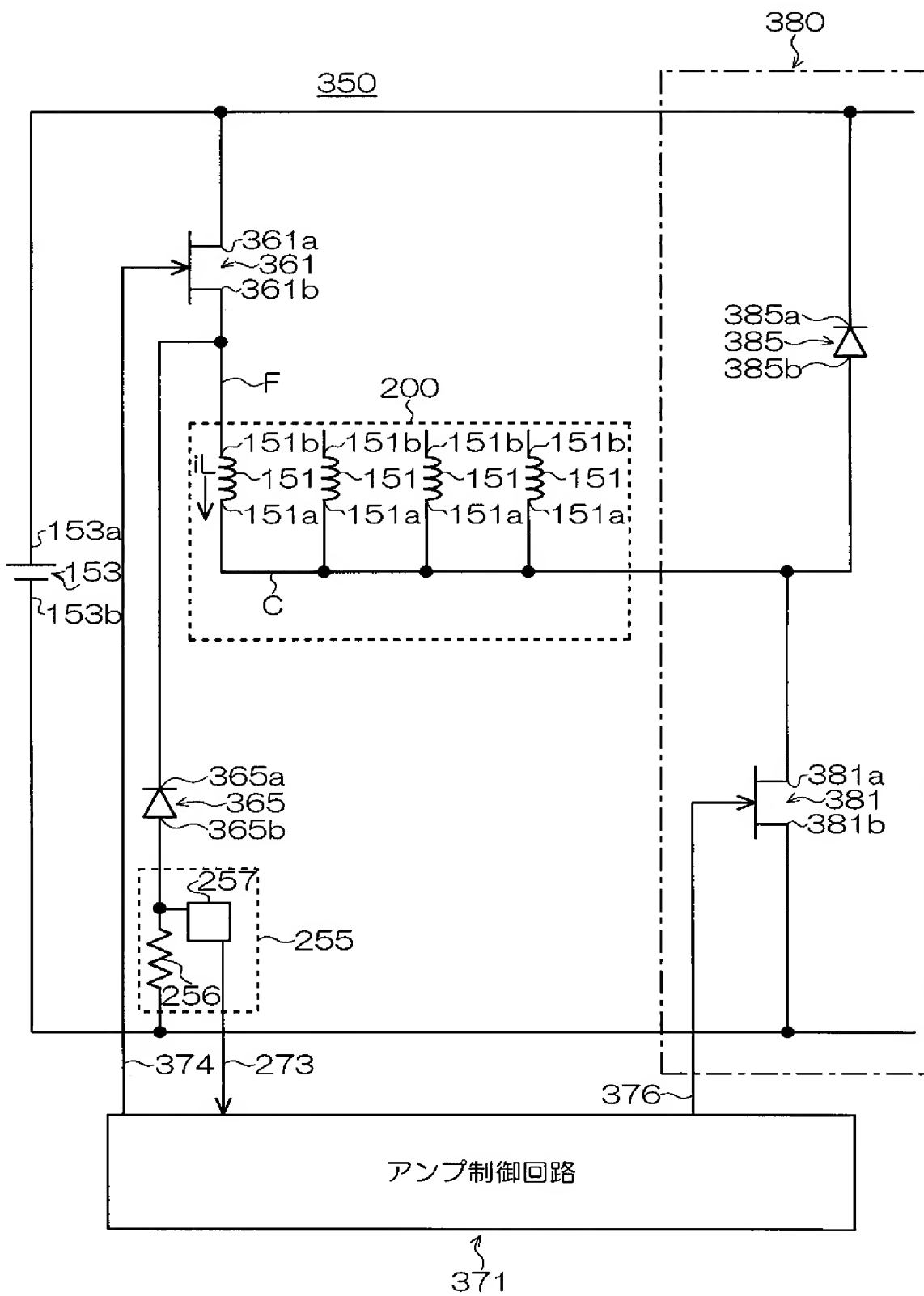
[図3]



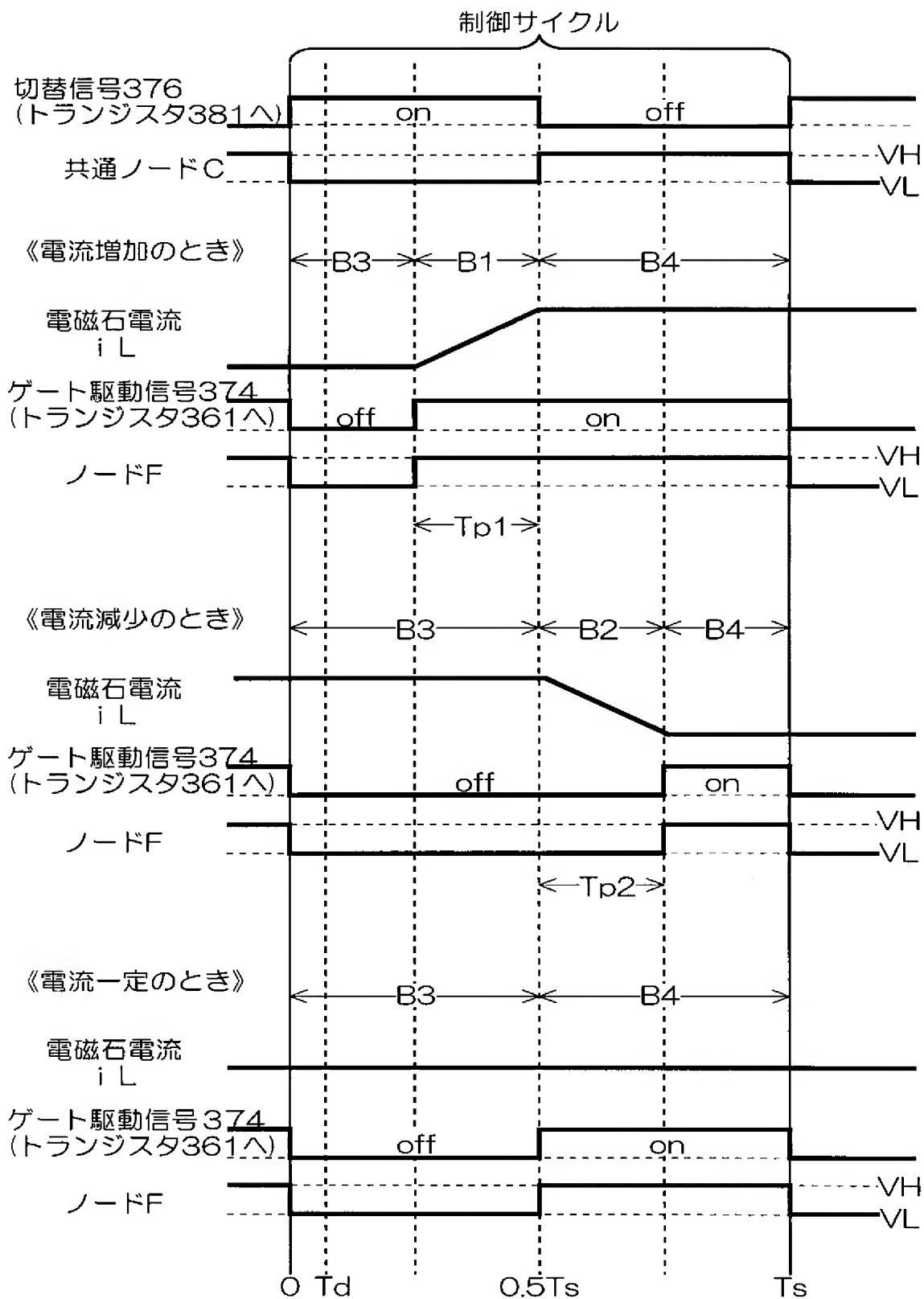
[図4]



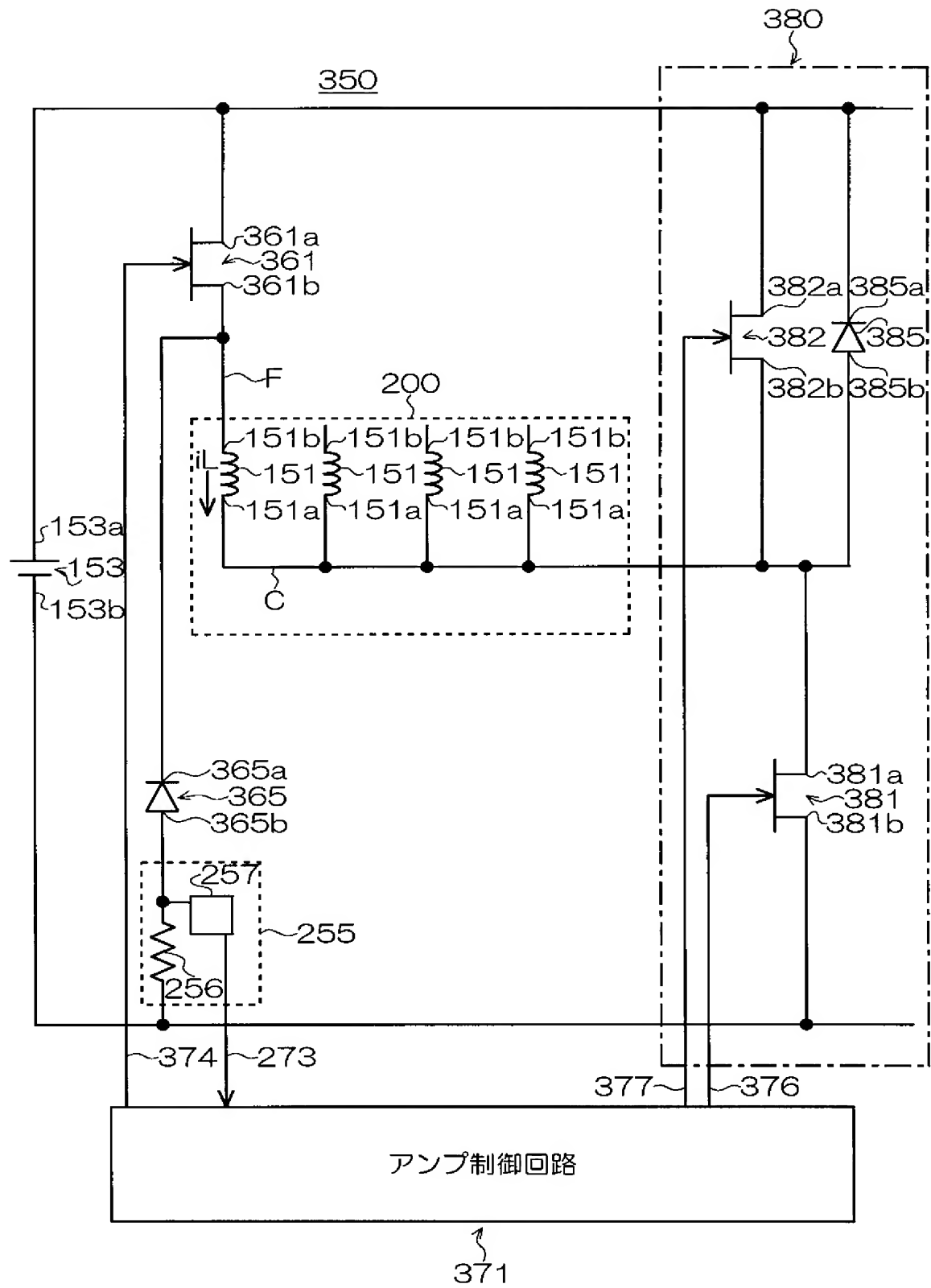
[図5]



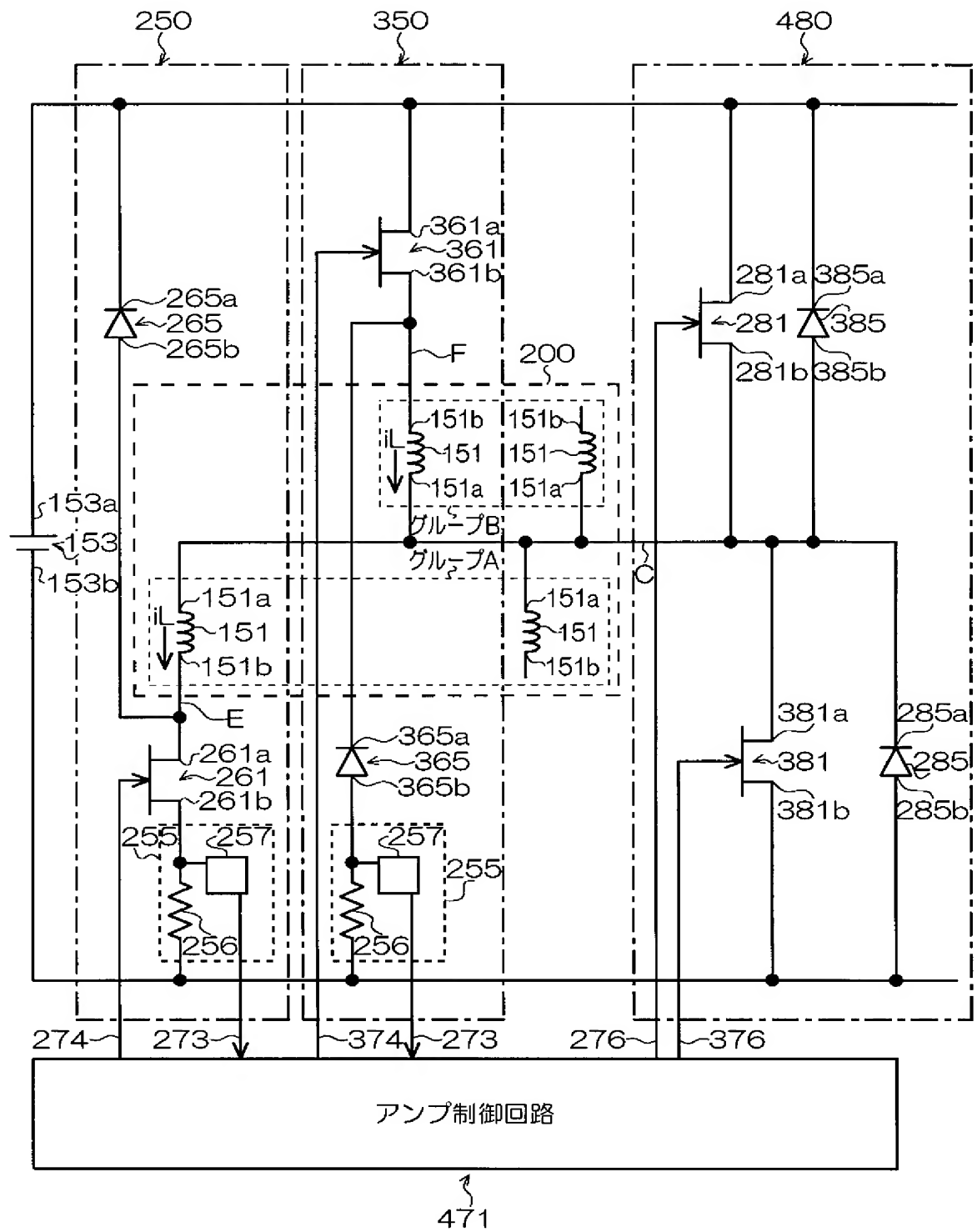
[図6]



[図7]

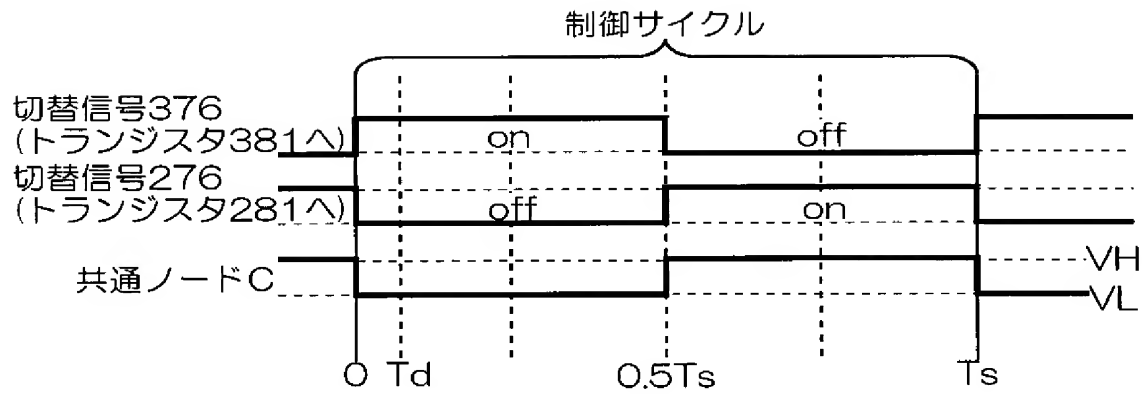


[図8]

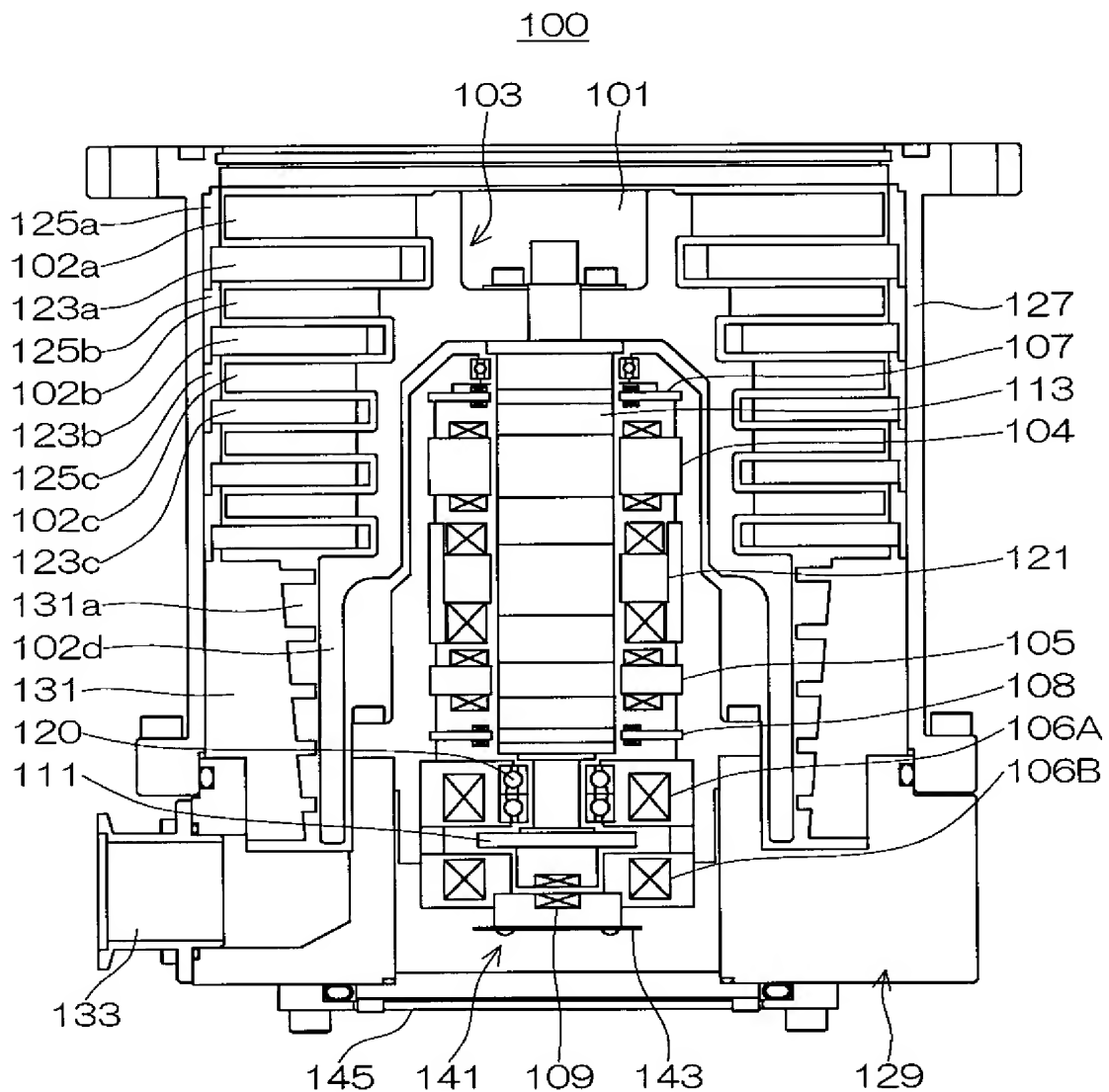




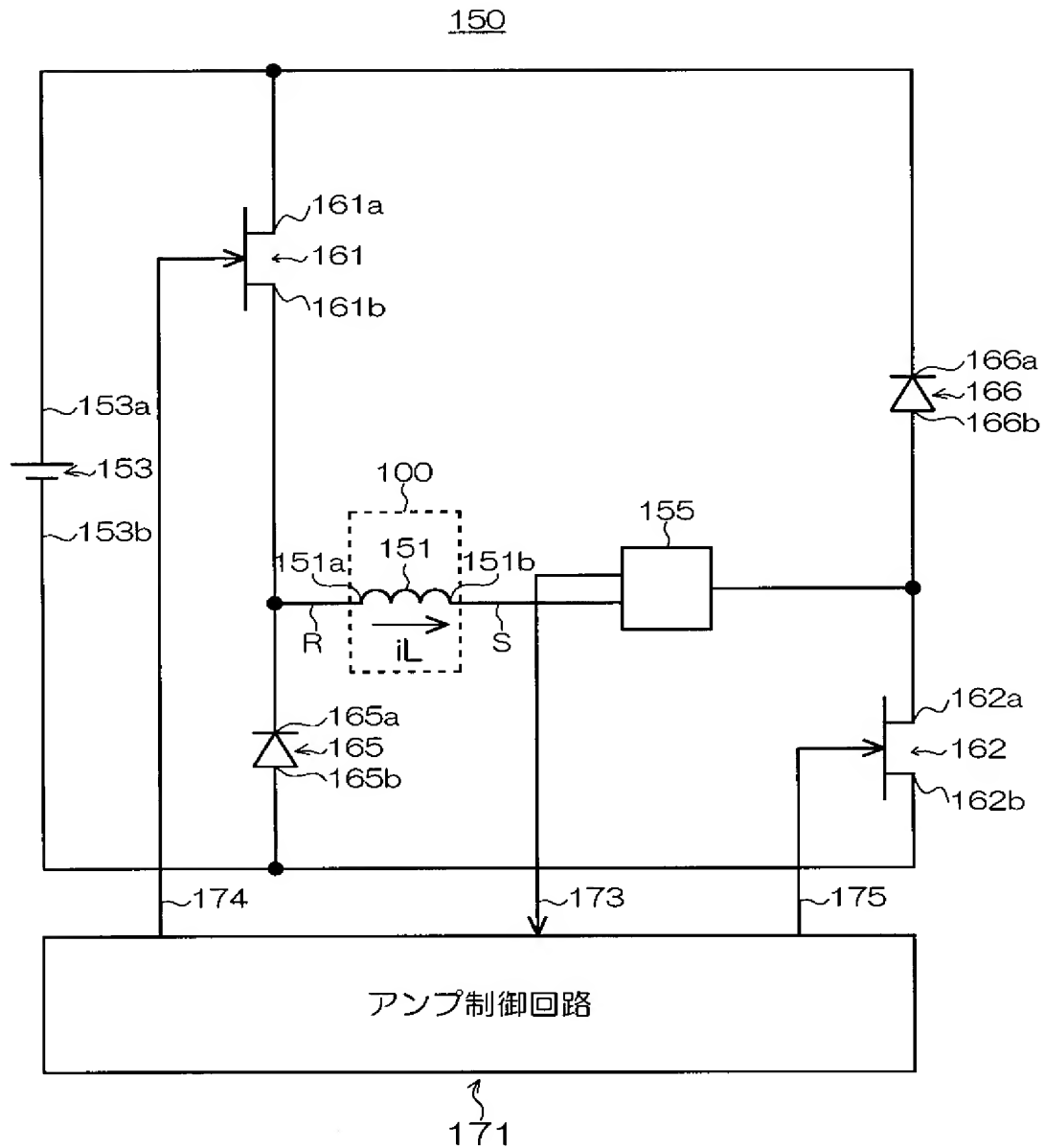
[図9]



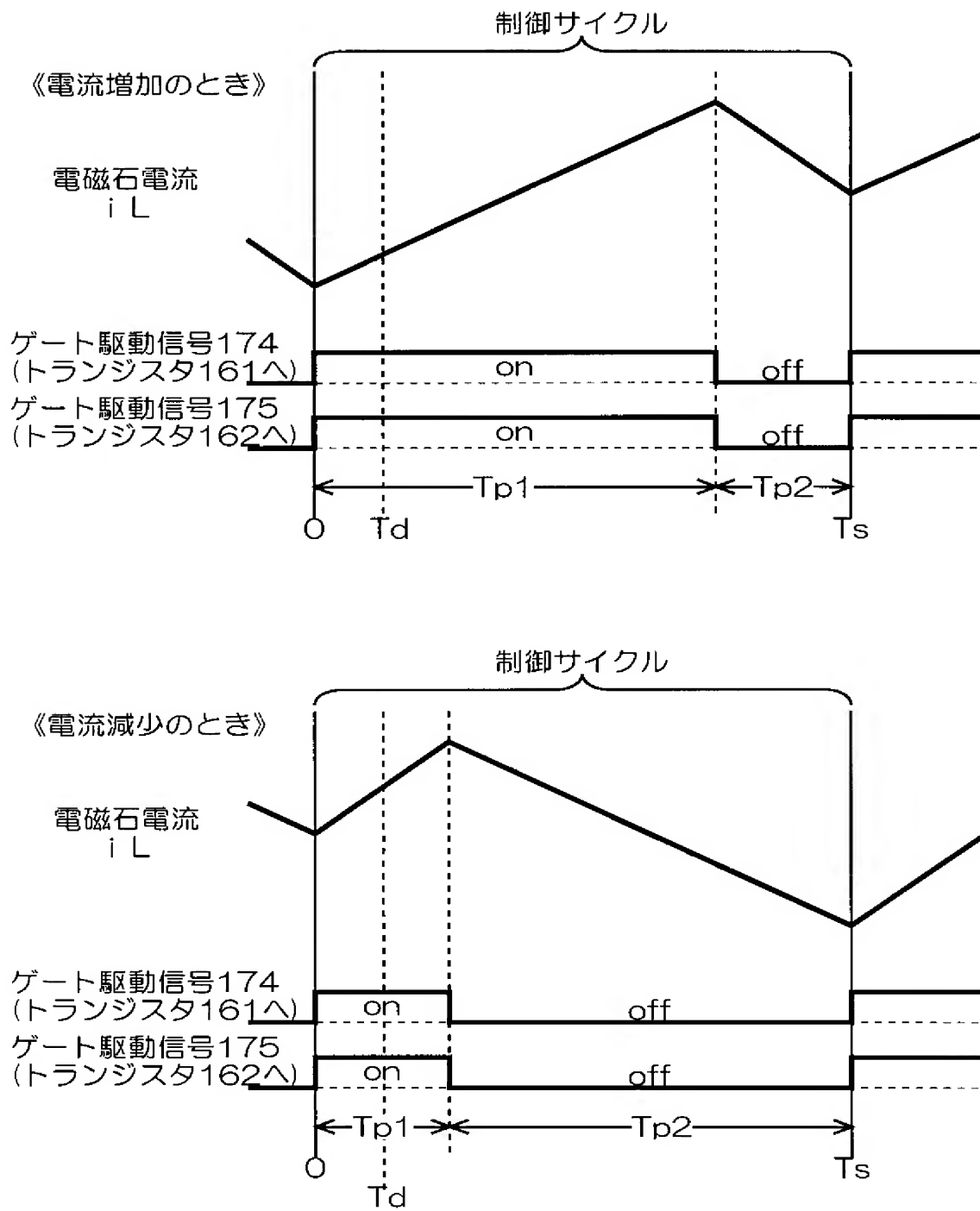
[図10]



[図11]



[図12]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/003347

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.<sup>7</sup> F16C32/04, F04D19/04, H03F3/217

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.<sup>7</sup> F16C32/04, F04D19/04, H03F3/217

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2003-13954 A (BOC Edwards Technologies, Ltd.), 15 January, 2003 (15.01.03), Full text; all drawings	1-11
A	JP 2003-172353 A (BOC Edwards Technologies, Ltd.), 20 June, 2003 (20.06.03), Full text; all drawings	1-11
A	JP 2003-172354 A (BOC Edwards Technologies, Ltd.), 20 June, 2003 (20.06.03), Full text; all drawings	1-11



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

## \* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T"

later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&amp;"

document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

11 May, 2005 (11.05.05)

Date of mailing of the international search report

24 May, 2005 (24.05.05)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/003347

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2003-139136 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 14 May, 2003 (14.05.03), Full text; all drawings	1-11
A	JP 6-153479 A (Magnetospheric Power Corp. Ltd.), 31 May, 1994 (31.05.94), Par. Nos. [0018], [0019]; Fig. 8	1-11
P,X	JP 2004-301322 A (BOC Edowazu Kabushiki Kaisha), 28 October, 2004 (28.10.04), Full text; all drawings	1-11

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2005/003347

JP 2003-13954 A	2003.01.15	(Family: none)	
JP 2003-172353 A	2003.06.20	EP 1316738 A1	2003.06.04
JP 2003-172354 A	2003.06.20	EP 1318310 A1	2003.06.11
JP 2003-139136 A	2003.05.14	(Family: none)	
JP 6-153479 A	1994.05.31	US 5191255 A	1993.03.02
		EP 0590185 A1	1994.04.06
		DE 69211992 T	1997.01.23
		AU 0655321 B	1994.12.15
		AU 2607592 A	1993.08.26
		CA 2080162 A	1993.08.20
		ES 2091377 T	1996.11.01
		DK 0590185 T	1996.11.11
		AT 0140108 T	1996.07.15
JP 2004-301322 A	2004.10.28	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. <sup>7</sup> F16C32/04, F04D19/04, H03F3/217			
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. <sup>7</sup> F16C32/04, F04D19/04, H03F3/217			
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2005年 日本国実用新案登録公報 1996-2005年 日本国登録実用新案公報 1994-2005年			
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)			
C. 関連すると認められる文献			
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号	
A	JP 2003-13954 A (ビーオーシーエドワーズテクノロジーズ株式会社) 2003.01.15, 全文, 全図	1-11	
A	JP 2003-172353 A (ビーオーシーエドワーズテクノロジーズ株式会 社) 2003.06.20, 全文, 全図	1-11	
A	JP 2003-172354 A (ビーオーシーエドワーズテクノロジーズ株式会 社) 2003.06.20, 全文, 全図	1-11	
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。			
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献			
国際調査を完了した日 11.05.2005		国際調査報告の発送日 24.05.2005	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 磯部 賢	3 J 9332
		電話番号 03-3581-1101	内線 3328

様式PCT/ISA/210 (第2ページの続き) (2004年1月)



JP 2003-13954 A	2003.01.15	ファミリーなし	
JP 2003-172353 A	2003.06.20	EP 1316738 A1	2003.06.04
JP 2003-172354 A	2003.06.20	EP 1318310 A1	2003.06.11
JP 2003-139136 A	2003.05.14	ファミリーなし	
JP 6-153479 A	1994.05.31	US 5191255 A	1993.03.02
		EP 0590185 A1	1994.04.06
		DE 69211992 T	1997.01.23
		AU 0655321 B	1994.12.15
		AU 2607592 A	1993.08.26
		CA 2080162 A	1993.08.20
		ES 2091377 T	1996.11.01
		DK 0590185 T	1996.11.11
		AT 0140108 T	1996.07.15
JP 2004-301322 A	2004.10.28	ファミリーなし	